

Efeito da temperatura e humidade no rendimento industrial de arroz das variedades Ariete, Euro, Gládio e Sírio

Estágio Curricular realizado na empresa Ernesto Morgado

Raquel Martins Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Alimentar – Processamento de Alimentos

Orientadora: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo

Orientador: Doutor Jorge Manuel Figueiredo Oliveira

Orientadora: Doutora Maria de Fátima Machado

Júri:

Presidente: Doutora Margarida Gomes Moldão Martins, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa; Doutora Maria Otília de Almeida Carvalho, Investigadora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

A presente dissertação para obtenção do Grau de Mestre foi realizada na empresa Ernesto Morgado, S. A., de acordo com as normas internas previstas no Regulamento dos Ciclos de Estudo Conducentes ao Grau de Mestre do Instituto Superior de Agronomia, publicado no Diário da República, 2ª Série, nº 113, de 12 de Junho de 2015.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Anabela Raymundo, pela oportunidade de estagiar na empresa Ernesto Morgado, S.A., sem dúvida que contribuiu bastante para o meu crescimento a vários níveis.

À Doutora Fátima Machado e ao Professor Doutor Jorge Oliveira, coorientadores da minha dissertação, por toda a orientação, ajuda e conhecimentos transmitidos.

Às Ritas, à Catarina, à Andreia, à Paula e Ermelinda, ao Engenheiro João Simões e a todos os funcionários da empresa por toda a simpatia com que me receberam e me acolheram, por todos os ensinamentos e sorrisos, sempre prestáveis em qualquer momento e situação.

Aos meus pais e irmão, a peça imprescindível ao longo da minha vida académica. Um muito obrigado por todo o apoio, confiança e força que me deram para encarar de cabeça erguida as dificuldades que surgiram durante este longo percurso.

A toda a minha família e amigas (um agradecimento especial à Carla Vaz, Joana Pereira e Rita Nascimento) por me ampararem em momentos de maior fragilidade e ajudarem a transformar momentos menos bons em ótimos momentos.

Ao meu avô e avó, por todos os telefonemas, obrigado por todo o mimo e por todos os sorrisos que me proporcionaram.

RESUMO

O arroz é um alimento essencial para mais de metade da população mundial, logo torna-se importante estudar o seu processamento e os fatores que o influenciam. O presente estudo centra-se na influência da humidade e temperatura na transformação de arroz, nomeadamente, na percentagem de grãos partidos, em quatro variedades de arroz (Ariete, Euro, Gládio e Sírio), tendo como principal objetivo maximizar o rendimento industrial e minimizar a percentagem de trincas nas quatro variedades. Desta forma estudaram-se 4 níveis de humidade (9%, 10%, 10.9% e intervalo entre 11 a 12%), procedeu-se à secagem num secador de laboratório e armazenagem em 2 temperaturas, 10°C e 40°C, obtidas numa câmara de refrigeração e estufa, respetivamente. Após conservação nestas condições, procedeu-se ao descasque e branqueamento das amostras de arroz e consequente determinação do rendimento industrial e percentagem de trincas. Verificou-se que a temperatura não influenciou significativamente o rendimento industrial e a percentagem de trinca em todas as variedades estudadas. No entanto a temperatura de 10°C apresentou valores ligeiramente mais favoráveis. O parâmetro rendimento industrial é influenciado pela variedade de arroz e humidade, sendo mais elevado nas variedades da subespécie *Indica* (Gládio e Sírio) a teores de humidade mais elevados. Relativamente à percentagem de grãos partidos, a variedade é o fator que provoca mais alterações, contudo não tem um comportamento linear entre variedades da mesma subespécie.

PALAVRAS-CHAVE: arroz, temperatura, humidade, trinca, rendimento industrial.

ABSTRACT

The rice is an essential food for more than half of the worldwide population, therefore, that's important to study the processing and the factors that influence. The present Project it is focused in the effects of the moisture and temperature in the rice processing, mainly, in the formation of broken grains, in four varieties of rice (*Ariete*, *Euro*, *Gládio* and *Sírio*), having as main objective to maximize the industrial yield and to minimize the percentage of broken rice in the four varieties. Insomuch, four levels of moisture content had been studied (9%, 10%, 10,9% and interval enter 11 - 12%), to drying in a laboratory air dryer and storage at two temperatures, 10°C and 40°C, in a chamber of refrigeration and climate chamber, respectively. After a time period in these conditions, proceeded to husking and milling of the samples of rice and consequent determination of the industrial yield and percentage of broken rice. It was verified that the temperature did not influence significant the industrial yield and the percentage of broken rice, however, the temperature of 10°C was slightly more favorable. The parameter industrial yield is influenced by the variety of rice and humidity, being higher in the varieties of the *Indica* subspecies (*Gládio* and *Sírio*) with higher moisture content. Concerning the percentage of broken grains, the variety is the factor that had the most influence, however does not have a linear behavior between varieties of the same subspecies.

KEY WORDS: rice, temperature, moisture, broken rice, industrial yield.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Enquadramento geral do trabalho e objetivos	10
1.2. Enquadramento da empresa	12
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	14
2.1. Arroz	14
2.1.1. A planta	14
2.1.2. Morfologia do grão.....	15
2.1.3. Composição do arroz	16
2.1.4. Variedades	18
2.2. Processamento de arroz	22
2.2.1. Etapas de processamento de arroz	22
2.2.2. Importância da etapa de secagem	26
2.2.3. Influência da humidade no armazenamento e impacto no descasque e Branqueamento	27
2.2.4. Influência da temperatura no armazenamento e impacto no descasque e branqueamento	29
2.3. Rendimento Industrial	30
2.4. Isotérmicas de adsorção de água	33
3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM CONTEXTO INDUSTRIAL.....	38
3.1. Material e Métodos	38
3.1.1. <i>Parte A</i> - Influência da humidade e temperatura no processamento de arroz	38
3.1.2. <i>Parte B</i> – Isotérmicas de adsorção	42
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
4.1. <i>Parte A</i> – Influência da humidade e temperatura no processamento de arroz das quatro variedades.....	47
5. CONCLUSÕES.....	62
6. BIBLIOGRAFIA.....	63
7. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Empresa Ernesto Morgado, S. A. e respetivos logótipos.....	12
Figura 2 - Gama Pato Real Natura	13
Figura 3 - Gama Pato Real Minuto. Arroz pronto (cima), Refeições prontas (baixo)	13
Figura 4 - Fases fenológicas da planta de arroz.....	15
Figura 5 - Anatomia de um grão de arroz.	15
Figura 6 - Representação da estrutura da amilose.....	19
Figura 7 - Representação da estrutura da amilopectina.....	19
Figura 8 - Amostra de arroz da variedade <i>Indica</i> (A) e variedade <i>Japonica</i> (B).	21
Figura 9 – Tarara.	24
Figura 10 - Trior.	24
Figura 11 – Plansichter.	24
Figura 12 – Sortex.	24
Figura 13 - Processo de transformação do arroz.	25
Figura 14 - Classificação comercial dos grãos de arroz inteiros (1ª coluna), Trinca Grada (2ª coluna), Trinca Média (3ª coluna), Trinca Miúda (4ª coluna) e Migalha (5ª coluna). Variedade Agulha (cima) e Variedade Carolino (baixo).	31
Figura 15 – Os cinco tipos de isotérmicas de adsorção, descritas por BET.	34
Figura 16 - Representação esquemática das zonas de uma isotérmica de adsorção da água do tipo II.	35
Figura 17 - Tarara	39
Figura 18 - Descascador e Branqueador	39
Figura 19 – Trior.....	39
Figura 20 – Medidor de humidade relativa (Wile 55).	40
Figura 21 - Amostras de arroz branqueado das quatro variedades estudadas.	41
Figura 22 – Medidor da atividade da água (Rotronic).....	44
Figura 23 - Aspeto final de um recipiente de adsorção	45
Figura 24 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Ariete.....	48
Figura 25 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Ariete.	49
Figura 26 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Euro.	50
Figura 27 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Euro.....	52
Figura 28 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Gládio.....	53
Figura 29 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Gládio.....	55
Figura 30 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Sírio.....	56

Figura 31 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Sírio.	58
Figura 32 - Percentagem das somas quadráticas da análise de variância do rendimento industrial, explicadas pelas diferenças entre humidade, temperatura e variedades.	59
Figura 33 - Percentagem das somas quadráticas da análise de variância da percentagem de trinca explicadas pelas diferenças entre humidade, temperatura e variedades.	60
Figura 34 – Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Ariete.	69
Figura 35 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Euro.	71
Figura 36 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Gládio.	74
Figura 37 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Sírio.	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional de arroz branqueado e integral (por 100 g)	17
Tabela 2 - Características do arroz destinado a consumo	31
Tabela 3 - Modelos matemáticos e respectivas equações para ajuste das isotérmicas.....	37
Tabela 4 - Identificação das amostras de arroz	38
Tabela 5 - Resumo do planeamento experimental	41
Tabela 6 - Atividade da água de soluções saturadas de sais, à temperatura de 40°C.....	43
Tabela 7 - Tabela resumo das condições mais favoráveis de armazenagem para as quatro variedades.	61
Tabela 8 – Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.....	68
Tabela 9 – Resultados da análise do rendimento industrial.	68
Tabela 10 - Resultados da análise da percentagem de grãos de arroz inteiro.	68
Tabela 11 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Euro analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.....	70
Tabela 12 - Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.	70
Tabela 13 – Resultados da análise do Rendimento Industrial.	71
Tabela 14 - Resultados da análise da percentagem de grãos de arroz inteiros.	71
Tabela 15 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Euro analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.....	72
Tabela 16 - Resultados da análise da percentagem de grãos de partidos.	73
Tabela 17 – Resultados da análise do rendimento industrial.	73
Tabela 18 - Resultados da análise de grãos de arroz inteiro.	73
Tabela 19 – Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Gládio, analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.	75
Tabela 20 - Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.	75
Tabela 21 – Resultados da análise do Rendimento Industrial.	76
Tabela 22 – Resultados da análise da percentagem de grãos inteiros.....	76
Tabela 23 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Sírio analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL DO TRABALHO E OBJETIVOS

A presente dissertação de Mestrado foi desenvolvida integralmente na empresa Ernesto Morgado, S. A., uma indústria arroseira, inserido na vertente de estágio curricular. A realização deste trabalho experimental permitiu um maior contacto com o ambiente empresarial, envolvendo todas as mais-valias que esta partilha proporcionou, nomeadamente a vivência prática das competências de um engenheiro alimentar, assim como a inserção num contexto de empresa.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é caracterizado por ser a base alimentar de mais de metade da população mundial, sendo que Portugal detém o maior consumo *per capita* da Europa, com 16 kg por ano, em contraste com a média europeia de 5-6 kg por ano. Neste sentido, dada a enorme significância deste cereal na produção e consumo em Portugal, torna-se relevante e essencial o conhecimento técnico de toda a fileira desta cultura, dentro da qual podemos destacar as tecnologias pós-colheita, por terem um papel crucial na vitalidade do grão, mais concretamente na manutenção da integridade química, física e biológica (Botelho, 2014).

O presente trabalho centra-se nas tecnologias pós-colheita do arroz, incidindo mais concretamente na problemática de um dos subprodutos das indústrias arroseiras, os grãos partidos, ou também designados de trinca. A trinca representa uma perda económica significativa para a indústria arroseira, tendo em conta que é um subproduto com menor valor comercial, pelo que o grande desafio das empresas prende-se na redução da percentagem dos grãos partidos. A trinca chega a representar 14% (m/m) de perdas no processo.

O presente estudo teve como objetivo geral perceber em que medida, parâmetros ambientais no armazenamento de arroz, nomeadamente a temperatura e humidade relativa, influenciam o rendimento industrial e quebra dos grãos de arroz durante o seu processamento (mais concretamente, descasque e branqueamento). Neste sentido, pretendeu-se determinar qual a humidade e temperatura que permite maximizar o rendimento industrial e minimizar a percentagem de grãos partidos, em amostras de arroz de duas variedades, *Indica* (arroz agulha) e *Japonica* (arroz carolino).

De uma forma paralela elaboraram-se as isotérmicas de adsorção do arroz em casca (*paddy*), uma vez que a compreensão das propriedades de adsorção de arroz é essencial para determinar o teor de humidade de equilíbrio adequado para o processo de secagem, assim como para o seu transporte e estabilidade no armazenamento, evitando a deterioração e otimizando estas etapas a fim de garantir uma boa qualidade do produto até ao seu consumo.

De forma mais específica, pretendeu-se:

- ✚ Analisar a influência da temperatura no rendimento industrial e surgimento de quebras no grão. Para tal usaram-se duas gamas de temperaturas: 10°C e 40°C;
- ✚ Analisar a influência da Humidade relativa no rendimento industrial e no surgimento de quebras no grão. Incidiu sobre quatro níveis de humidade: 11-12%, 10,9%, 10% e 9%;
- ✚ Estudar e compreender o comportamento de duas variedades da subespécie japónica e indica neste estudo;
- ✚ Elaborar isotérmicas de adsorção do arroz em casca.

A dissertação encontra-se dividida em duas partes. A primeira parte é relativa ao enquadramento teórico, onde se caracteriza tanto a planta de arroz como o seu fruto, quanto à sua composição, morfologia e variedades. Assim como toda a base teórica essencial para a compreensão de todos os acontecimentos que foram surgindo ao longo da atividade experimental e delineado pelos objetivos previamente estabelecidos.

A segunda parte do trabalho corresponde ao desenvolvimento experimental em contexto industrial que contempla duas etapas:

- a) Avaliação do impacto das condições de armazenamento do arroz (humidade e temperatura) no rendimento industrial e percentagem de trinca para as diferentes variedades de arroz;
- b) Isotérmicas de adsorção do arroz a diferentes humidades relativa.

No que se refere à componente das isotérmicas, não foi possível concluir o estudo dentro do prazo do estágio, encontrando-se o mesmo ainda a decorrer. Por esse facto não é possível apresentar resultados passíveis de discussão.

Para além do trabalho experimental apresentado, ao longo dos seis meses de estágio realizado na empresa Ernesto Morgado, tive ainda oportunidade de contactar com o processo produtivo da empresa. Tal experiência reforçou diversas competências que adquiri durante a componente curricular do mestrado, nomeadamente na área de tecnologia de cereais. Relativamente a essa componente de acompanhamento do processo não apresentarei resultados na presente dissertação.

1.2. ENQUADRAMENTO DA EMPRESA

A componente prática da presente dissertação de Mestrado foi realizada na empresa Ernesto Morgado, S.A. (Figura 1), localizado em Alqueidão, Figueira da Foz.



Figura 1 - Empresa Ernesto Morgado, S. A. e respetivos logótipos.

Fonte: www.emorgado.pt/pdf/em_2014_pt.pdf

A Ernesto Morgado é uma das indústrias de arroz mais antiga de Portugal, uma empresa familiar e o seu nascimento data ao ano de 1920. Tem como fator característico e competitivo a sua localização geográfica – o Vale do Mondego e é detentora de uma marca própria denominada Pato Real. O seu sucesso assenta num sistema de gestão integrado de qualidade, ambiente e Segurança Alimentar, assim como na avançada tecnologia e inovação (Ernesto Morgado, 2014; Tecnoalimentar, 2015).

O portfólio de produtos comercializados pela empresa Ernesto Morgado abrange vários tipos de arroz branqueado, sendo esta gama designada de “Pato Real Natural” (Figura 2), na qual se realiza o descasque, branqueamento e o embalamento do arroz. Tem uma capacidade de produção de 40000 toneladas/ano de arroz branqueado.

Para além desta gama, o portfólio inclui também a produção de arroz e refeições prontas a comer, esterilizadas, o Pato Real Minuto (Figura 3), resultado de um projeto de IDI - Investigação, Desenvolvimento e Inovação (Ernesto Morgado, 2014; Tecnoalimentar, 2015).



Figura 2 - Gama Pato Real Natural

Fonte: www.emorgado.pt/pdf/em_2014_pt.pdf



Figura 3 - Gama Pato Real Minuto. Arroz pronto (cima), Refeições prontas (baixo)

Fonte: www.emorgado.pt/pdf/em_2014_pt.pdf

Para além da diversidade de produtos de marca própria a sua produção ainda inclui marcas de distribuição.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. ARROZ

O arroz, com nome científico *Oryza sativa* L. é uma das culturas cerealíferas com maior peso em termos mundiais, presente na base de alimentação de cerca de 50% da população mundial, compreendendo duas grandes subespécies, *Japonica* (carolino) e *Indica* (agulha) (Nakayama, 2005; Wani *et al.*, 2012).

São várias as investigações de âmbito histórico acerca da origem da planta, no entanto a maioria dos historiadores aponta como data para o seu surgimento há 10000 anos no sudoeste asiático. A cultura conquistou outros territórios, alcançado pelas distintas rotas comerciais, sendo usado como moeda de troca (Silva, 1969; Novarroz, 2015).

Já nos séculos VII e VIII, a cultura de arroz chega à Europa e séculos depois surgem os primeiros sinais da mesma em Portugal, no reinado de D. Dinis (1279-1325). Tendo sido levada para a África e América do Sul pelos navegadores portugueses. Posteriormente, no século XVIII, D. José incentivou a sua produção, e foi em 1909 que conquistou uma área de cultivo evidente, abrangendo diferentes variedades de arroz. Cerca de 12 anos depois, o arroz já detinha uma fração notória na mesa dos portugueses (Silva, 1969; Brites *et al.*, 2004; Novarroz, 2015).

2.1.1. A planta

O arroz pertence à família das gramíneas, sendo considerado um fruto. A sua cultura, orizicultura, está presente em praticamente todos continentes, compreendendo cerca de 112 países. Desta forma pode-se concluir que é um cereal com adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, abrangendo zonas frias ou quente assim como mais húmidas ou secas (Rosa, 2008).

É uma cultura anual composta por órgãos vegetativos e reprodutivos, comuns na estrutura de uma planta, sendo eles: raiz, colmo ou caule, folhas, flores e frutos (Silva, 1969). Pode-se observar na Figura 4 as mudanças morfológicas da planta ao longo do seu ciclo de vida. A duração do ciclo varia entre 100 e 140 dias, tendo como fatores variantes a cultivar, solos e condições ambientais (Nunes).

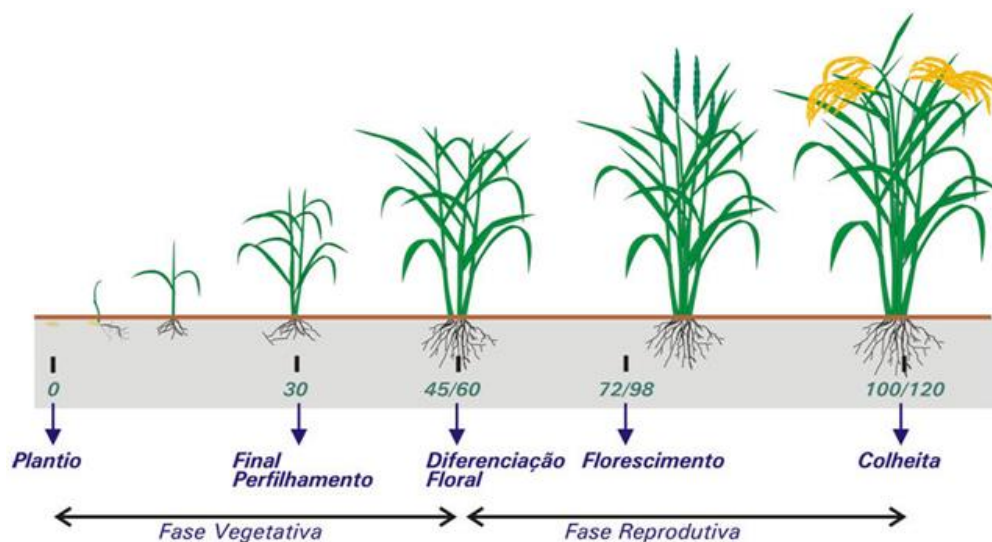


Figura 4 - Fases fenológicas da planta de arroz.

Fonte:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo07qw4xeclygdut.htm>

I

2.1.2. Morfologia do grão

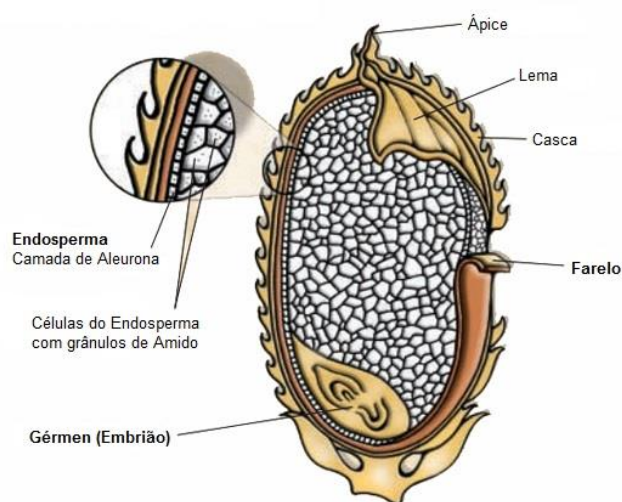


Figura 5 - Anatomia de um grão de arroz.

Adaptado de: <http://www.foolproofliving.com/baked-brown-rice-with-mushrooms-and-leeks/>.

No que diz respeito à morfologia do grão de arroz é composto por duas frações, núcleo ou cariopse e pela casca, podendo ser observada na Figura 5. O núcleo de arroz é constituído pelo pericarpo, embrião e endosperma (rico em grânulos de Amido). O pericarpo é uma fração do Farelo ou sêmea, juntamente com mais duas frações, testa e a camada de aleurona. Este tem um papel crucial no que se refere à aceitação por parte do consumidor, visto que o farelo, ou película, confere ao arroz uma tonalidade mais escura, característicos do arroz integral. No entanto é muito rica nutricionalmente, sendo por isso uma vantagem distintiva entre arroz integral e arroz branqueado, uma vez que aquando do branqueamento do arroz a camada de Farelo é removida (Hoseney, 1986).

A testa ou tegumento é uma camada inferior ao pericarpo, envolve o embrião, sendo responsável pela germinação do grão (Silva, 1969; Nakayama, 2005; Walter *et al.*, 2008).

Em termos percentuais a casca detém 20% do peso total do grão. Após remoção da casca obtém-se um grão de arroz integral sendo que 2 a 3% da massa do mesmo complementa o gérmen e 89-94% o núcleo (Walter *et al.*, 2008).

2.1.3. Composição do arroz

A composição de arroz é condicionada por aspetos da própria cultura (i.e., solo, fertilização, variedade), assim como pelo estado físico do grão (i.e., arroz em casca, arroz em película, arroz semibranqueado o arroz branqueado) (Silva, 1969; Ministério Agricultura, 2000).

Numa vertente nutricional e comparando com os outros cereais, o arroz é um alimento completo, tem na sua composição como componente maioritário, o amido, que é um hidrato de carbono, no entanto, é também uma excelente fonte de proteínas, água, vitaminas, como tiamina, ribiflavina e a niacina, e também minerais (tabela1). Distintivamente a outros cereais, não contem glúten na sua composição, o que o torna um alimento elegido por celíacos assim como matéria-prima na confeção de alimentos isentos de glúten (Brites *et al.*, 2004; McGee, 2004; Walter *et al.*, 2008).

Tabela 1 - Composição nutricional de arroz branqueado e integral (por 100 g)

Componentes	<u>Arroz branqueado</u> por 100 g*	<u>Arroz Integral</u> por 100 g*
Água, g	13,9	12,2
Proteína, g	6,7	8,6
Gordura total, g	0,4	2,5
Total de Hidratos de Carbono disponíveis, g	78,1	71,6
Total de Hidratos de Carbono expresso em monossacáridos, g	85,9	78,8
Fibra alimentar, g	2,1	3,8
Sódio (Na), mg	6,0	3,0
Potássio (K), mg	94	248
Cálcio (Ca), mg	13	9,0
Fósforo (P), mg	87	267
Magnésio (Mg), mg	32	109
α-tocoferol (vit. E), mg	0,1	0,7
Tiamina (vit. B1), mg	0,1	0,4
Riboflavina (vit. B2), mg	0,03	0,1
Niacina (vit. B3), mg	2,0	4,1
Triptofano/60, mg	1,4	1,9
Vitamina B6, mg	0,3	0,6
Folatos, ug	19	55

* De parte edível

Fonte: <http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/AreasCientificas/AlimentNutricao/AplicacoesOnline/TabelaAlimentos/PesquisaOnline/Paginas/DetalheAlimento.aspx?ID=IS402>.

Uma vez que o grão de arroz descascado é composto por camadas externas e internas, a sua composição química nas mesmas vai ser distinta. Nas camadas externas, denominado de arroz com película ou arroz integral, existe uma maior concentração de proteínas, lípidos, fibras, minerais e vitaminas. Ao contrário da cama interna que é rica em amido, designado de arroz branqueado (Silva, 1969; Walter *et al.*, 2008).

A composição destes constituintes é influenciada pelas operações de descasque, branqueamento e polimento. Alguns destes diminuem à medida que o grão de arroz passa por mais etapas de processamento (Silva, 1969).

2.1.4. Variedades

O arroz, *Oryza sativa* L., da família Poaceae, divide-se em duas grandes cultivares, a espécie *Oryza sativa* e *Oryza glaberrima*, correspondendo respetivamente ao arroz asiático e africano. Anualmente estas variedades aumentam, resultado de melhoramentos genéticos e cruzamento de variedades (SPI, 1999).

A espécie *Oryza sativa* L. é constituída por duas subespécies, *Indica* e *Japonica*. Comercialmente denominam-se como arroz agulha e arroz carolino, respetivamente. A primeira é uma cultura nativa de terras tropicais e subtropicais, ao invés da segunda cultura que é adaptada tanto aos trópicos como a climas temperados (Brites *et al.*, 2004; McGee, 2004). São várias as características que contribuem para a vasta diversificação de variedades de arroz, são elas (Rosa, 2008):

- O tamanho do grão: redondo, médio e longo
- A cor: preto, castanho, vermelho, branco
- A consistência: gomoso, glutinoso

Segundo o DL nº62/2000, o arroz pode ser classificado quanto ao comprimento do grão. Assim sendo o grão redondo ostenta um comprimento inferior ou igual a 5,2 mm e a sua relação comprimento/largura é inferior a 2. O grão médio apresenta um comprimento superior a 5,2 mm e inferior ou igual a 6,0 mm, sendo a sua relação comprimento/largura inferior a 3. Por fim, o grão longo é caracterizado por medir mais de 6,0 mm de comprimento e a sua relação comprimento/largura pode ser superior a 2 e inferior a 3 (i.e., arroz carolino) ou superior ou igual a 3 (i.e., arroz agulha) (Ministério Agricultura, 2000).

Para além do tamanho do grão, estas duas subespécies apresentam outra característica diferencial, é ela a percentagem de amido presente no endosperma do grão de arroz. O amido é um polissacárido, nutricionalmente pertence ao grupo dos hidratos de carbono e detém mais de 80% dos constituintes totais do grão (McGee, 2004; Hosney, 1986; Seravalli & Ribeiro, 2004).

A estrutura do amido é formada por um arranjo molecular entre dois polímeros de glucose: amilose e amilopectina, variando o número de unidades de açúcar e as suas proporções consoante a espécie de arroz e o seu grau de maturação (Hosney, 1986; Ribeiro & Seravalli, 2004).

A **amilose** apresenta-se como uma cadeia linear com ligações glicosídicas α -1,4 entre os anéis de glucose (Figura 6), podendo apresentar entre 350 a 1000 unidades de glucose. É uma molécula solúvel em água (Seravalli & Ribeiro, 2004).

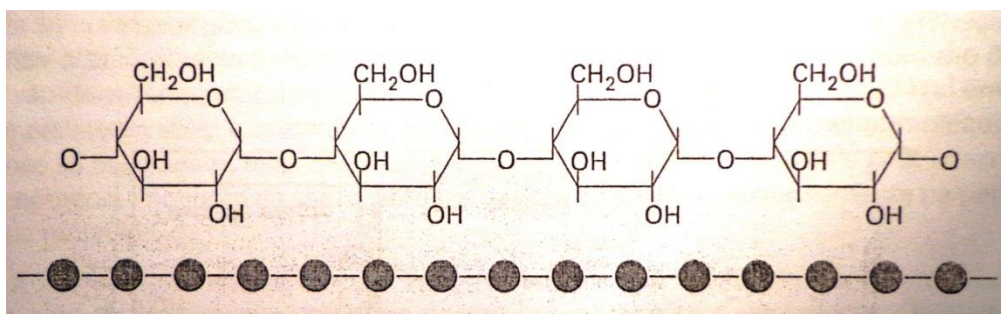


Figura 6 - Representação da estrutura da amilose.

Fonte: Seravalli & Ribeiro, 2004.

Enquanto que a **amilopectina** apresenta uma estrutura ramificada com ligações glicosídicas α -1,6, podendo ser constituída por 10 a 500 mil unidade de glucose (figura 7). Também tem alguma solubilidade em água mas menos que amilose (Ribeiro & Seravalli, 2004).

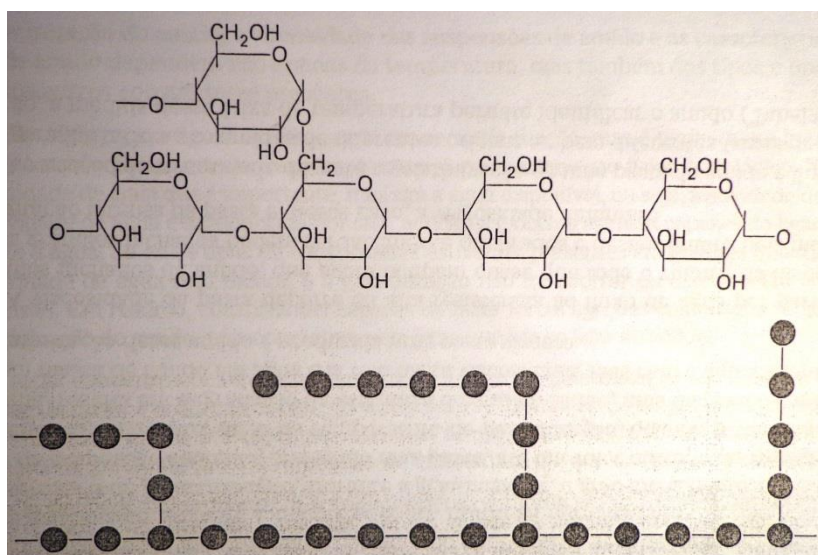


Figura 7 - Representação da estrutura da amilopectina.

Fonte: Seravalli & Ribeiro, 2004.

O amido encontra-se sob a forma de grânulos, sendo constituídos por moléculas lineares e ramificadas, correspondendo respetivamente, à amilose e amilopectina. Estas cadeias vão estabelecer ligações por pontes de hidrogénio, originando uma estrutura organizada e coesa, com regiões cristalinas. Estes grânulos permanecem intactos durante o processamento de arroz, isto é, aquando sujeito ao descasque, branqueamento e polimento (Seravalli & Ribeiro, 2004).

As diferentes proporções destes açúcares no grão, isto é, razão amilose - amilopectina, caracterizam as distintas variedades de arroz e consequentemente, diferente comportamento do mesmo aquando do seu cozimento. Uma vez que na sua cozedura em água, os grânulos de amido absorvem a água, incham, formando um gel, uma pasta viscosa. Esta particularidade tem um peso relevante no que respeita à escolha do arroz para determinados pratos culinários, já que apresentam comportamentos desiguais.

O arroz *Indica* (agulha), apresenta um grão longo com um teor de Amilose (TA) mais elevado, ou seja, a sua estrutura é constituída maioritariamente por cadeias lineares, tendo como implicações a dificuldade em reter a água no interior do grão, desta forma torna-se mais resistente a cozedura e pela característica de não criar uma estrutura gomosa, não absorve o sabor do cozinhado. É mais indicado para pratos de arroz solto (Houston,1972; SPI, 1999; Euroimpala, 2009).

O arroz Agulha é indicado para confeccionar pratos onde seja pretendido um arroz seco, textura solta, é um arroz flexível, isto é, mesmo apresentando-se solto não deixa de ser indicado para pratos com mais molhos. Tem a vantagem de apresentar excelentes resultados mesmo após refrigeração e reaquecimento. Usado em receitas culinárias como: para arroz branco, arroz de legumes, arroz de pimentos, arroz de pato, arroz de bacalhau (Ernesto Morgado, 2014; Aparroz).

Relativamente aos grãos de arroz *Japonica* (carolino), estes são longos também mas apresentam uma conformação mais arredondada (figura 9), e ao contrário da variedade anterior, tem maior proporção de amilopectina, correspondendo a um menor TA, o que vai implicar um comportamento contrário. Devido a maior presença de cadeias ramificadas na sua estrutura, a água é facilmente absorvida, retida na rede, desta forma absorve com facilidade os sabores, aroma e cor dos outros ingredientes com que é confeccionado (Houston,1972; Euroimpala, 2009).

O arroz Carolino tem um peso bastante significativo na gastronomia portuguesa, com a vantagem de absorver os condimentos, aroma e sabor de outros alimentos com que seja cozinhado, formando uma textura cremosa. É um arroz escolhido na confeção de pratos típicos como: arroz de marisco, arroz de polvo, arroz de cabidela, arroz de feijão, arroz de tomate ou arroz doce (Ernesto Morgado, 2014).

Assim a distinção de características físico-químicas dos grãos, entre variedades, bem como a sua capacidade de retenção de água, conferem diferentes aplicações quando falamos de confeções culinárias (Rosa, 2008).

No presente estudo selecionaram-se duas variedades de cada subespécie: *Indica* (Gládio e Sírrio) e *Japonica* (Ariete e Euro) - figura 8.

A escolha incidiu sobre a variedade Ariete (carolino) e Gládio (agulha) uma vez serem variedades de referência em Portugal, para além de vantajosas características agronómicas (e.g., boa adaptabilidade, resistência a doenças), destacam-se pelo elevado rendimento industrial (Lusosem, 2014).

As restantes duas variedades, Euro (carolino) e Sírrio (agulha), foram selecionadas dentro do conjunto de variedades laboradas na empresa Ernesto Morgado, permitindo fazer melhor comparação.

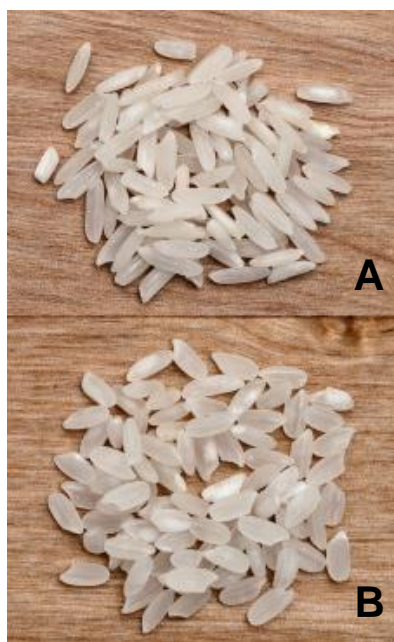


Figura 8 - Amostra de arroz da variedade *Indica* (A) e variedade *Japonica* (B).

Fonte: <http://www.femenino.info/nutricion/tipos-de-arroz-segun-su-forma/>.

2.2. TRANSFORMAÇÃO DE ARROZ

2.2.1. Etapas de transformação de arroz

A etapa de colheita do arroz em Portugal apresenta um requisito quanto ao teor de humidade das panículas, este deve encontrar-se entre os 18% e os 22%, abrangendo o fim de Setembro e início de Outubro (IGP, 2011).

Este cereal está provido de uma casca e é nesta forma que ele é colhido, com ajuda de ceifeiras debulhadoras. Após **receção** do arroz em casca, denominado também de paddy, procede-se a uma secagem com o objetivo de reduzir o teor de humidade para valores iguais ou inferiores a 13%. Para a concretização desta etapa faz-se uma **limpeza** prévia de impurezas (i.e., palhas, grãos defeituosos e infestantes) efetuada por tararas acopladas aos secadores onde se vai iniciar o processo de secagem, cuja temperatura pode oscilar entre 35-53°C. Depois da secagem do arroz, é realizada uma nova limpeza na tarara (figura 9). A tarara é um equipamento com crivos com perfurações de vários diâmetros, permitindo separar os grãos de outros componentes com dimensões diferentes (IGP, 2011; Botelho, 2014; Ernesto Morgado, 2015).

Respeitante à **secagem** do arroz, existem três vertentes. Este processo de remoção de humidade pode realizar-se no campo aquando da colheita do arroz, chegando à indústria já seco, é armazenado e/ou processado neste estado físico. Por outro lado, a receção da matéria-prima pode ser na forma de arroz verde, este é armazenado temporariamente em silos ventilados ou logo secos na fábrica. Ou pode ainda dar-se a receção de arroz já descascado e com o teor de humidade dentro dos limites pré-estabelecidos. Em qualquer destas três situações, a armazenagem do arroz seco, verde e descascado efetua-se em silos horizontais e verticais ventilados, sendo considerado um ponto signifiante, uma vez que uma má armazenagem pode comprometer a qualidade da matéria-prima, através de alterações fisiológicas e físico-químicas. Desta forma é necessária que a temperatura seja baixa e estável para não se desenvolverem fermentações ou ataque de pragas, nomeadamente de gorgulho (Silva, 1969; Hoskeney, 1986; IGP, 2011; Ernesto Morgado, 2015).

O gorgulho é um inseto que coloca larvas nos grãos de arroz e alimenta-se do mesmo, essencialmente durante o seu armazenamento. É uma praga com alguma notoriedade na indústria arroseira, o que requer uma prevenção e inspeção acrescida durante todo o manuseamento do arroz. Numa vertente de prevenção, o arroz antes de ser armazenado sofre uma etapa denominada, **expurgo do arroz ou desinfestação**, que tem como objetivo eliminar este tipo de pragas (Badi & Osamu, 2013).

Uma vez estabilizado o teor de humidade indicado, o arroz em casca sofre uma nova limpeza, tendo como objetivo remover impurezas como: palhas, milhãs, pedras e metais. Esta etapa é feita nas tararas por crivagem e por aspiração por fluxo de ar. O paddy limpo é

descascado, a casca de arroz é separada e obtém-se o arroz em película ou integral (Hoseney, 1986; IGP, 2011; Buggenhout *et al.*, 2013).

O arroz descascado segue para o **branqueamento**, que pode ser realizado por três passagens, consoante o grau de brancura desejado. Tem como princípio a remoção do farelo ou película e do embrião por fricção, basicamente o arroz é pressionado contra uma pedra de esmeril em rotação. Esta etapa é complementada com um **polimento** por fricção do arroz contra o próprio arroz e/ou por pulverização com água, conferindo-lhe mais brilho (Silva, 1969; Hoseney 1986; Ernesto Morgado, 2015)

Do branqueamento e polimento, é extraída a sêmea, um subproduto da indústria arroseira, que, por aspiração, segue para um silo de armazenagem, é posteriormente embalada e expedida. O arroz branqueado sofre uma triagem, permitindo uma separação de grãos inteiros de grãos partidos, isto é, trinca (Hoseney, 1986).

A separação dos grãos é feita por alveolometria nos trios (figura 10) e por crivagem no plansichter (figura 11), compostos por peneiras com movimentos oscilatórios e rotativos. Quanto à separação dos grãos não conformes (i.e., bagos amarelos, verdes, vermelhos, gessados, danificados ou em casca) e outras impurezas (i.e., metais, plásticos, vidros e pedras) é efetuada por colorimetria em duas Sortex (figura 12), este equipamento faz uma seleção óptica dos grãos não conformes. Os grãos inteiros e a trinca grada e miúda (i.e., a trinca grada é o grão partido com uma dimensão maior que a trinca miúda) são separados, pesados e armazenados em silos para a próxima etapa, o **doseamento**.

No doseamento e loteamento há a incorporação dos grãos inteiros com uma pequena percentagem de trinca, definida legalmente. A restante trinca é igualmente doseada e embalada, terminando com a sua expedição. O processamento de arroz termina com o **embalamento** e segue para a expedição (Ernesto Morgado, 2015).



Figura 9 – Tarara.



Figura 10 - Trior.



Figura 11 – Plansichter.



Figura 12 – Sortex.

Como foi possível comprovar, existem várias formas de comercialização do arroz, obtido em diferentes pontos do processamento do mesmo. Podemos diferenciar o **Arroz integral** ou em película, o qual sofreu apenas o descasque. O **arroz semibranqueado**, este após o descasque sofre um branqueamento menos intenso, menos abrasivo, isto é, passa menos vezes no branqueador, ao contrário do que se realizada no **arroz branqueado** (Ministério Agricultura, 2000). Todo este processamento descrito anteriormente encontra-se representado na Figura 13.

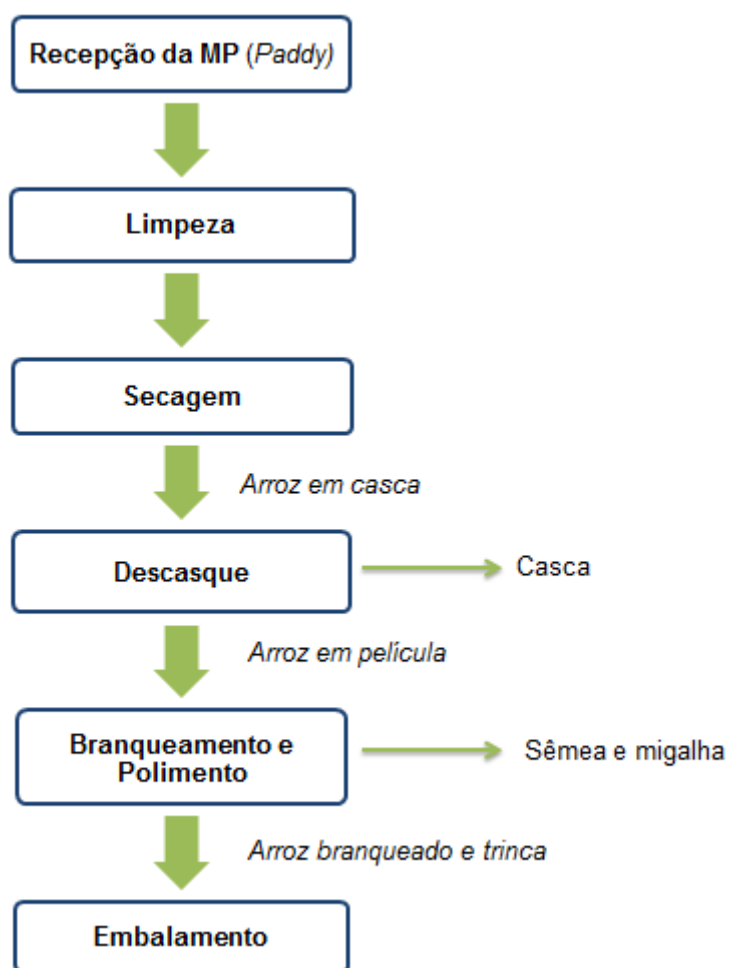


Figura 13 - Processo de transformação do arroz.

Adaptado de: <http://www.tecnoalimentar.pt/noticias/ernesto-morgado-s-a-arroz-que-nasce-nas-margens-do-mondego/>.

No presente trabalho foram estudadas diferentes condições de secagem, razão pela qual se dará mais destaque à revisão bibliográfica sobre esta etapa, merece maior destaque pelo seu impacto na eficácia global do processo.

2.2.2. Importância da etapa de secagem

A secagem é um método de conservação de alimentos, consiste na remoção de água contida no produto, onde há transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto. Este processo é crucial na indústria arroseira uma vez que garante uma série de vantagens. Dessas vantagens destaca-se a conservação da aparência dos grãos assim como a sua viabilidade e qualidade nutritivas, contribuindo também para o apuramento de propriedades de sabor, textura e cor. Por outro lado, acarreta ainda benefícios na armazenagem da matéria-prima durante um período de tempo mais longo sem que haja a deterioração do mesmo, ataque de pragas e desenvolvimento de microrganismos. Por fim, este processo, permite ao produtor antecipar a colheita e diminuir as perdas do produto no campo (Botelho, 2014; Silva *et al.*).

Os sistemas de secagem de grãos utilizados estão divididos em dois grupos, denominados de secagem natural e secagem artificial (Silva, 1969; Silva *et al.*).

A **secagem natural**, tal como o nome indica, ocorre de forma natural no campo de produção, beneficiando de fatores ambientais como o vento e energia solar, ainda quando a semente se encontra na planta. Em Portugal, não se recorre a este método, sendo mais utilizado em regiões subdesenvolvidas e/ou em desenvolvimento. Uma vez que os custos associados são menores e em países tropicais as condições climáticas são favoráveis para esta prática (Silva, 1969; Silva *et al.*).

A **secagem artificial**, requer equipamento específico e mão-de-obra, subdivide-se em dois pontos, tendo como base a origem da ventilação. Desta forma a secagem pode ocorrer por ventilação natural, ou seja, a seguir a colheita dos grãos, são espalhados num local térreo e a secagem dos mesmos ocorre de forma natural. Em alternativa, a ventilação pode ser forçada, isto é, a velocidade e temperatura do ar de secagem é controlada pelo homem, permitindo um maior controlo durante o processo (Silva, 1969; Silva *et al.*).

O arroz, sendo um grão higroscópico, vai responder de forma dinâmica e física a mudanças de temperatura e humidade do meio envolvente, logo dado estes atributos físicos do grão, torna-o muito suscetível, o que vai ter implicações a nível de surgimento de grãos partidos (i.e., trincas) ou fissuras no grão. Para além que este é constituído maioritariamente por amido, um polímero de glucose com propriedades térmicas, que confere ao grão comportamentos próprios aquando sujeitos a gradientes de temperatura e humidade. Como resultado do aumento de grãos partidos, o rendimento industrial é afetado negativamente, associado a uma perda de valor comercial (Lan & Kunze, 1996; Aquerreta *et al.*, 2007; Taitano *et al.*, 2012).

De uma forma representativa, para se retirar a humidade do grão necessita-se de energia térmica, só assim a água evapora. Esta energia térmica, isto é, o calor fornecido num dado intervalo de tempo, pode ser mais ou menos acentuada, sendo que à medida que a

aumentamos são desencadeadas diferenças de tensão de vapor de água entre a superfície externa do grão e o ar ambiente, sendo que essa tensão na periferia é superior à do ar envolvente. Ou seja, ocorre uma retração por parte das células do núcleo, sendo este acontecimento mais acentuado nas células da parte externa do que nas interiores. A água contida no grão passa para o ar. Gradualmente, a humidade do grão vai diminuindo, e esta passagem da água cessa quando se atinge um equilíbrio higroscópico, assim que as pressões de vapor de água se igualam (Kent, 1975; Iguaz *et al.*, 2006; Botelho, 2014; Silva *et al.*).

Dado que a secagem tem um papel crucial na contribuição e/ ou surgimento de fissuras no grão de arroz, torna-se relevante estudar parâmetros como, humidade e temperatura de forma a prever perdas de qualidade do produto. O processamento de arroz, principalmente, descasque e branqueamento, envolve forças de impacto e fricção que vão causar danos nos grãos. Estes danos vão depender de propriedades físico-químicas do grãos assim como de propriedades mecânicas, isto é, resistência da semente a forças de compressão de forma a ser possível analisar e prever futuras quebras e fissuras durante o seu processamento (Cnossen *et al.*, 2003; Iguaz *et al.*, 2006; Côrrea *et al.*, 2007).

Por estas razões, a presente dissertação foca-se no estudo da humidade e temperatura para a contribuição do desenvolvimento de quebras e fissuras de grão de arroz, nomeadamente, nas operações de descasque e branqueamento.

2.2.3. Influência da humidade no armazenamento e impacto no descasque e Branqueamento

O teor de humidade dos grãos é um fator crucial no que diz respeito ao armazenamento de cereais. Isto porque permite controlar a deterioração do grão, nomeadamente as alterações físico químicas que consecutivamente se refletem em alterações das propriedades físicas, químicas e funcionais do arroz (Houston, 1972; Chukwuka, 2013).

Em Portugal, a percentagem máxima de humidade dos grãos de arroz para laboração legislada é de 14%. Porém as indústrias arroseiras optam essencialmente por intervalos de humidade inferior ou igual a 13%. Desta forma, para que ocorra armazenagem segura e sem comprometer a qualidade do cereal, a humidade não pode ultrapassar este limite de percentagem (Ministério da Agricultura, 2000; Ernesto Morgado, 2015).

A conservação do arroz pode ocorrer a teores de humidade elevado e teores de humidade baixa. Esta variação vai ser um dos fatores determinantes do desempenho do branqueador, concretamente em termos de rendimento do branqueamento (i.e., rendimento industrial) e de rendimento em grãos inteiros. Para além disso vai ser determinante em alterações ao nível da composição química do grão de arroz, nomeadamente associado a alterações do amido e da proteína e respetivas interações. Fisicamente, o teor de humidade

(TH) dos grãos afeta a facilidade com que o farelo é removido durante o branqueamento (Buggenhout *et al.*, 2013; Gbabo & Ndagi, 2014).

Relativamente à composição química, a conservação do arroz não tem um impacto muito significativo nas propriedades do **amido**. No entanto observam-se pequenas alterações ao nível molecular. Estas destacam-se ao nível do seu peso molecular e dos seus constituintes, amilose e amilopectina. Com a duração da armazenagem, a enzima amílase promove a síntese do amido, degradando o mesmo. Esta degradação vai ter implicações na rigidez e viscosidade dos grãos, sendo mais acentuado em variedades com elevado teor de amilose, ou seja em variedades de arroz da subespécie indica (acontece mais a humidades elevadas) (Chukwuka, 2013).

O arroz em casca com humidades elevadas, superiores a 14%, apresenta os grânulos de amido mais expandidas, apresentando uma estrutura mais macia. Contudo, as tensões no núcleo do grão são elevadas e quando este é sujeito ao descasque e branqueamento (predominação de forças de fricção), o grão excede a sua resistência de rutura, resultando em quebras do grão. Deste modo, o armazenamento de grãos com humidades elevadas tem um impacto negativo na qualidade do arroz, pois degrada o amido. Contrariamente, com humidades demasiado baixas, as células de amido vão apresentar-se mais contraídas, menos “flexíveis”. O grão torna-se mais frágil e quebradiço, resultando também em mais quebras durante as etapas acima referidas (Kunze, 2008; Chukwuka, 2013; Gbabo & Ndagi, 2014).

A **proteína** nos grãos de arroz encontra-se maioritariamente concentrada nas camadas externas do grão, havendo, porém, uma pequena quantidade presente no endosperma (núcleo). Durante a sua conservação não há grandes alterações químicas deste constituinte, no entanto existem interações amido-proteína que se vão refletir na textura e cozimento dos grãos de arroz, nomeadamente na gelatinização de amido. Relativamente ao descasque e branqueamento não se observa grande influência (Chukwuka, 2013).

O autor anteriormente referido tem sugerido que os grânulos de amido associados às moléculas de proteína conferem força para que os grânulos gelatinizados se mantenham unidos. Assim, durante a armazenagem a interação proteína-amido diminui com a alteração da textura e com alteração dos teores de humidade. Importa salientar que as interações são mais acentuadas a temperaturas altas e a humidades mais elevadas (Chukwuka, 2013).

Segundo estudos realizados por vários autores, as fissuras em arroz em casca podem surgir após sujeitos a uma secagem rápida. Logo estas desenvolvem-se mais por tensões de humidade do que por tensões térmicas. Sendo que estas fissuras podem surgir até 48 horas após secagem e suportadas pelo comportamento reológico do grão, gerado por um gradiente de humidade muito elevado (Kent, 1975; Lan & Kunze, 1996; Kunze, 2008).

2.2.4. Influência da temperatura no armazenamento e impacto no descasque e branqueamento

Os grãos de arroz, para além de sofrerem deterioração, durante o armazenamento, devido a alterações de humidade, sofrem alterações também por diferenças de temperatura, embora essas alterações sejam menos acentuadas (Kent, 1975; Lan & Kunze, 1996; Kunze, 2008; , 2013).

O grão de arroz é higroscópico e como corpo vivo que ele é, respira. A respiração dos grãos pode contribuir para a deteriorização dos grãos, sendo esta condicionada pela temperatura dos mesmos. Estudos evidenciam que um aumento de intensidade de respiração está correlacionado com o aumento da temperatura, isto é mais claro a teores de humidades superiores a 13-14% (Holcomb *et al.*, 1997; Faroni, 1998).

Durante a armazenagem a diferentes gamas de temperatura ocorrem alterações ao nível da composição química do grão de arroz, nomeadamente associado a alterações do amido e da proteína e respetivas interações. A conservação a diferentes temperaturas pode ter um efeito no descasque e branqueamento, nomeadamente, contribuir para que haja perdas físicas ou quebras no grão de arroz. No entanto, as perdas com maior destaque quando o fator é a temperatura, são as perdas de qualidade do grão (Faroni, 1998; Stockli & Pedersen).

As perdas de qualidade dos grãos estão associadas a alterações das qualidades intrínsecas, pela atuação de fungos, que causam fermentações, modificações organoléticas e redução do seu valor nutritivo. Estas podem ser minimizadas com a redução de oscilações de temperatura, sendo que a temperatura inicial do grão armazenado deve ser igual ou superior à temperatura do ar atmosférico (Faroni, 1998; Ranalli *et al.*, 2003). No entanto, diversos trabalhos de investigação divulgam que fatores de armazenamento, nomeadamente, a sua duração e temperatura, podem afetar o rendimento em grãos inteiros entre outras qualidades, como é o caso do aumento da sua dureza, dilatação, aumento de volume e adsorção de água. Tendo sido possível apurar que tanto à temperatura de 4°C como 38°C, após 2/3 dias de armazenagem houve um ligeiro aumento do rendimento em grãos inteiros (considerando uma secagem imediata a temperaturas baixas) (Holcomb *et al.*, 1997; Daniels *et al.*, 1998; Ranalli *et al.*, 2003).

Considera-se que a armazenagem de grãos de cereais a temperaturas baixas é melhor que a temperaturas mais elevadas, quando outros fatores que afetam a temperatura são constantes, como é o caso da humidade. No entanto, mesmo em ambientes bastante controlados, a resposta do arroz quanto à alteração das suas propriedades físicas (i.e., temperatura) é muito difícil de prever (Houston, 1972).

2.3. RENDIMENTO INDUSTRIAL

Segundo Silva (1969), o **rendimento industrial** (RI) numa indústria arroseira define-se como a quantidade de arroz branco, obtido do descasque e branqueamento, sendo que este é composto por grãos inteiros e grãos partidos, denominados trincas. Isto é, a percentagem de arroz branqueado é igual à soma dos grãos de arroz inteiros e partidos. O rendimento industrial permite quantificar a eficiência das operações, descasque e branqueamento (Buggenhout *et al.*, 2013).

O decreto-lei nº62/2000 faz a distinção entre “grão de arroz”, “trinca” e “defeitos”. A categoria de **grão de arroz** define o grão inteiro como o grão ao qual, no máximo, lhe foi retirada parte da “ponta”.

Os **grãos partidos ou trinca** são caracterizados como os grãos cujo comprimento é igual ou inferior a três quartos do comprimento médio do grão inteiro, no qual se faz a distinção consoante a sua dimensão (Figura 14). Desta forma são caracterizados como:

- Trinca grada, em que o comprimento é igual ou superior a metade do comprimento dos grãos inteiro;
- Trinca média, o seu comprimento é igual ou superior a um quarto do comprimento do grão inteiro;
- Trinca miúda, caracterizada por um comprimento inferior a um quarto dos grãos (comprimento superior a 1,4 mm);
- Migalha ou fragmento, classifica-se como uma partícula com comprimento inferior a 1,4 mm.

Em relação aos **defeitos**, estes embora não interfiram diretamente no cálculo do rendimento industrial, são quantificados. São considerados grãos defeituosos aqueles com anomalias morfológicas de diferentes naturezas ou até mesmo problemas durante a maturação do grão. Esta denominação complementa: grão verde, grão danificado, grão fendido, grão gessado, grão estriado de vermelho, grão vermelho, grão manchado, grão amarelo, grão ambarino, grão escuro, casca, farelo de casca, sêmea, gérmen, farinha e impurezas (Ministério Agricultura, 2000).



Figura 14 - Classificação comercial dos grãos de arroz inteiros (1ª coluna), Trinca Grada (2ª coluna), Trinca Média (3ª coluna), Trinca Miúda (4ª coluna) e Migalha (5ª coluna). Variedade Agulha (cima) e Variedade Carolino (baixo).

Fonte: Silva, 1969

A trinca de arroz possui o mesmo valor nutritivo que o grão inteiro, é considerado um subproduto das indústrias de arroz. No entanto parte deste subproduto pode ser misturado com os grãos inteiros, ou seja, incorporado no doseamento de arroz (i.e., grãos inteiros). A percentagem máxima específica de trinca que é permitida incluir está estabelecida no DL 62/2000 e encontra-se descrita na seguinte tabela 2.

Tabela 2 - Características do arroz destinado a consumo.

Características	Classes comerciais		
	Percentagem Máxima	Percentagem Máxima	Percentagem Máxima
Humidade	14	14	14
Grãos com comprimentos fora dos limites fixados para o tipo comercial	25	25	25
Grãos gessados ou verdes	2,5	3,5	4,5
Grãos estriados de vermelho ou vermelhos	2,5	3,5	4,5
Grãos danificados ou escuros	1,5	2,5	3,5
Grãos amarelos, manchados ou ambarinos	0,5	0,5	0,5
Grãos despontados ⁽¹⁾	5	5	5
Trincas, grãos fendidos ou deformados ⁽²⁾	4	8	16
Trincas miúdas	1	2	4
Migalhas	0	0	0
Impurezas	0,1	0,2	0,2

Adaptado de: Ministério Agricultura, 2000.

No âmbito do presente trabalho consideraram-se três parâmetros para avaliação da eficácia dos processos de conservação

- a) Rendimento industrial, como definido anteriormente, $RI = \% \text{ trinca} + \% \text{ grãos inteiros}$;
- b) Percentagem de grãos partidos ou trinca (Decreto-Lei nº62/2000);
- c) Percentagem de grãos inteiros.

De que a percentagem de trinca e de grãos inteiros não apresenta uma relação direta com o rendimento industrial. Quer isto dizer que um elevado rendimento industrial não significa que se formaram poucos grãos partidos mas sim que a percentagem de grãos branqueados (grãos inteiros e partidos) foi elevada.

2.4. ISOTÉRMICAS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA

2.4.1. Humidade de equilíbrio e isotérmicas de adsorção

As isotérmicas de adsorção de água são definidas como um equilíbrio higroscópico entre a atividade de água e teor de humidade, a uma temperatura constante. Mais concretamente, o equilíbrio de humidade atinge-se quando esta permanece constante, sem perdas (i.e., dessorção) e ganhos (i.e., adsorção) de água para o meio envolvente (Rodvalho, 2008; Moreira *et al.*, 2012).

A fixação da temperatura neste procedimento é essencial por forma a permitir conhecer o comportamento a uma temperatura que a semente é processada e armazenada (Taitano *et al.*, 2012).

A adsorção é definida como uma transferência de massa (i.e., humidade) entre o alimento e a atmosfera envolvente, que ocorre por difusão natural de vapor de água. Após obtenção do equilíbrio higroscópico pode dizer-se que se alcançou um equilíbrio entre as pressões de vapor de água no material e no ar envolvente (Rodvalho, 2008; Taitano *et al.*, 2012).

O conhecimento das propriedades de adsorção de arroz torna-se necessário uma vez que transmitem informação útil da sua aplicabilidade. Desta forma através da interpretação das isotérmicas de adsorção consegue-se determinar o teor de humidade de equilíbrio adequado para o processo de secagem e consequente elaboração de modelos de secagem. Assim conhecida esta humidade de equilíbrio (HE) pode-se definir condições ótimas de armazenagem, transporte (a uma temperatura definida), ou seja, condições onde o produto mantém a sua estabilidade, permitindo evitar a deterioração física e química através da diminuição do desenvolvimento microbiológico e ataque de pragas, conduzindo a uma garantia de qualidade do produto até ao consumo (Baskaran *et al.*, 2000; Moreira *et al.*, 2012; Taitano *et al.*, 2012; Ambros, 2013).

2.4.2. Atividade da água (a_w)

O teor de água num alimento é um dos componentes mais importantes, particularmente, o teor de água livre, uma vez que este é o que está mais disponível para reações, o que terá implicações na conservação e alteração de características físicas, químicas e microbiológicas. Esta água nos alimentos é descrita como a_w , definida como a razão entre pressão de vapor da água no alimento (p) e a pressão de vapor da água pura (p_0), a uma dada temperatura, tal como descrito na seguinte equação 1 (Rodvalho, 2008; Guiné *et al.*, 2014).

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

Onde,

a_w – Atividade da água (adimensional),

p – Pressão de vapor de água no alimento (pa),

p_0 – Pressão de vapor da água pura (pa).

Sempre que o alimento atinge o equilíbrio com o meio envolvente, a atividade da água do alimento é igual a pressão de vapor exercida por uma solução ou alimento, ou seja, a humidade relativa, em atmosfera isolada.

2.4.3. Tipos de isotérmicas

As isotérmicas podem apresentar várias formas e em 1938, Brunauer, Emmet e Teller (BET) descreveram-nas como cinco tipos, consoante as diferenças na natureza do alimento em estudo (figura 15). As isotérmicas do tipo I e II denominam-se também de isotérmicas de Langmuir e sigmoidal (ou estrutura em S), respectivamente. Os restantes tipos ainda não foram intituladas com nenhum nome específico. As isotérmicas de forma sigmoidal são obtidas em produtos solúveis, alimentos proteicos ou farinhas. Sendo estas curvas as mais características em produtos alimentares (Brunauer *et al.*, 1938; Medeiros *et al.*, 2006; Olivera *et al.*, 2011; Moreira *et al.*, 2012; Guiné *et al.*, 2014).

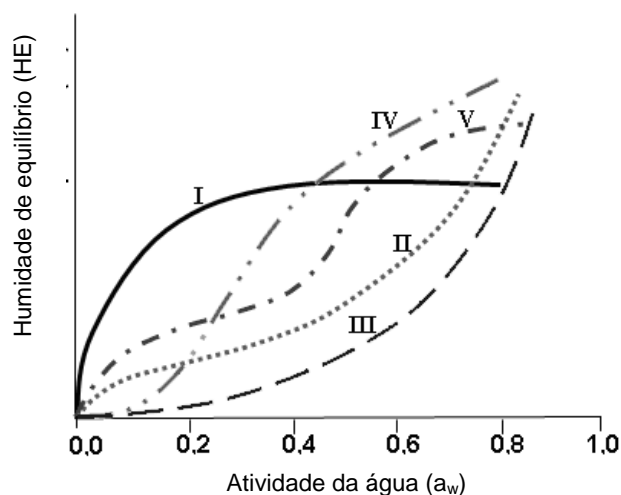


Figura 15 – Os cinco tipos de isotérmicas de adsorção, descritas por BET.

Fonte: Brunauer *et al.*, 1938.

Dado que a isotérmica mais comum em produtos alimentares é do tipo II, a figura 16 caracteriza a constituição da mesma com as diferentes zonas que a decompõem.

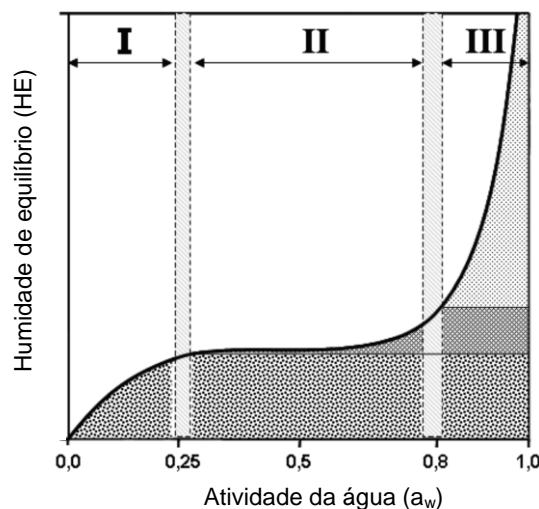


Figura 16 - Representação esquemática das zonas de uma isotérmica de adsorção da água do tipo II.

Fonte: Rodvalho, 2008.

A composição da amostra alimentar inicialmente encontra-se na zona seca (I), onde a atividade da água é baixa até alcançar elevadas humidades (III), ao longo desta variação há alterações das características da água presente no alimento. Na zona I a água está fortemente ligada ao alimento como se fizesse parte da amostra, considerando-se menos móvel. Seguindo para a zona II, a água contida nesta zona engloba a água da região I mais a água adicionada durante o processo de hidratação (aumento da humidade), as moléculas de água ligam-se a moléculas que se encontram na primeira camada e com moléculas do soluto. Nesta fase o alimento ainda apresenta características de um alimento seco, firme e flexível. Por fim, na zona III a água é considerada água livre do alimento, menos ligada e molecularmente é mais móvel, aqui o alimento já apresenta alterações, mais húmido e inchado (Mujumdar, 1995; Ambros, 2013).

2.4.4. Determinação das isotérmicas

O teor de humidade de equilíbrio (HE) pode ser determinado por um método estático gravimétrico, recorrendo a soluções saturadas de sais, com diferentes valores de atividades de água, criando uma atmosfera com distintas humidade relativa do ar constantes, conseguido com os sais (Moreira *et al.*, 2012).

Este método é muito simples e seguro aquando da sua manipulação. Consiste em armazenar as amostras do alimento em estudo, previamente pesadas, num recipiente hermeticamente fechado. Cada recipiente conte uma amostra assim como uma solução de sal saturada com a_w conhecida. Colocam-se a uma temperatura constante e regularmente

efetuam-se pesagens das amostras até chegarmos a uma massa de amostra constante, sem que haja variação de peso (Rodvalho, 2008; Guiné, 2014). Após alcançar este ponto, efetua-se o cálculo da humidade de equilíbrio através na fórmula a seguir descrita (equação 2).

$$HE = \frac{(m_f - m_i)}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

Em que,

m_f – massa final da amostra; m_i - massa inicial da amostra

A fim de determinar as isotérmicas para representar a relação de equilíbrio, recorre-se a modelos matemáticos empíricos por forma a prever com mais precisão a humidade de equilíbrio e humidade relativa do ar.

Na seguinte tabela 3 encontram-se descritos os modelos matemáticos mais utilizados para modelar as isotérmicas de adsorção e respetivas equações para ajustar as curvas.

Vários autores recorrem a estes modelos para ajuste das isotérmicas de adsorção em diversos alimentos, como: amêndoa inteira e laminada (Taitano *et al.*, 2012), bolacha maria (Guiné *et al.*, 2014), sementes de chia (Moreira *et al.*, 2012), farinha de pinhão (Olivera *et al.*, 2011) e suplementos nutritivos à base de cereais e leguminosas (Baskaran *et al.*, 2000).

Tabela 3 - Modelos matemáticos e respetivas equações para ajuste das isotérmicas.

Modelo	Equação
BET	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_{eq}} = \frac{1}{X_m \cdot C_{BET}} + \frac{a_w}{X_m \cdot C_{BET}} \left(\frac{C_{BET} - 1}{C_{BET}} \right)$
GAB	$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w)}{(1 - K \cdot a_w) (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
Chirife	$X_{eq} = \exp [A + B \cdot \ln (C - \ln a_w)]$
Chung-Pfost	$\ln (a_w) = -A \cdot \exp (-B \cdot X_{eq})$
D'arcy Watt	$X_{eq} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot a_w}{1 + K_1 \cdot a_w} + K_5 \cdot a_w + \frac{K_3 \cdot K_4 \cdot a_w}{1 - K_3 \cdot a_w}$
Halsey	$\ln (a_w) = \left(\frac{-A}{X_{eq}^B} \right)$
Henderson	$(1 - a_w) = \exp (-A \cdot X_{eq}^B)$
Oswin	$X_{eq} = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$
Peleg	$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$
Smith	$X_{eq} = A + (B \cdot \log (1 - a_w))$

Fonte: Ambros, 2013.

Legenda: X_m - Teor de humidade de equilíbrio (kg água/kg amostra seca); X_{eq} - teor de humidade da monocamada (kg água/kg amostra seca); a_w – atividade da água; **A, B, C, K, K₁, K₂, K₃, K₄, K₅, N, n₁ e n₂** – constantes dos modelos.

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM CONTEXTO INDUSTRIAL

Todos os objetivos traçados para a concretização da componente experimental foram realizados em contexto industrial. Desta forma, todo o desenvolvimento experimental foi realizado nas instalações da empresa Ernesto Morgado, S.A., situado próximo da Figueira da Foz. A indústria dispôs de instalações, equipamentos, utensílios e toda a matéria-prima necessária.

Indo ao encontro dos objetivos gerais e específicos delineados para esta componente prática, o seguinte ponto, denominado, Material e Métodos, apresenta-se dividido em:

- **Parte A**, referente ao estudo da influência da humidade e temperaturas no processamento de arroz, em diferentes variedades;
- **Parte B**, referente à realização das isotérmicas de adsorção.

3.1. MATERIAL E MÉTODOS

3.1.1. **Parte A** - Influência da humidade e temperatura no processamento de arroz

3.1.1.1. Amostras

As amostras de arroz em casca, usadas neste trabalho, foram recolhidas dos silos de armazenagem, nos armazéns da empresa Ernesto Morgado S.A. Optou-se por selecionar duas variedades de duas grandes subespécies, *Indica* e *Japonica* (Tabela 4), correspondendo, respetivamente, ao comum arroz agulha e carolino.

Tabela 4 - Identificação das amostras de arroz

Subespécies	Variedades	Códigos das Amostras	Origem
<i>Indica</i>	<i>Gládio</i>	TTG0X	Mondego
	<i>Sírio</i>	TTS0X	Sado
<i>Japonica</i>	<i>Ariete</i>	TTA0X	Mondego
	<i>Euro</i>	TTE0X	Mondego

Uma vez que não é possível o processamento das amostras nos equipamentos industriais, a Ernesto Morgado possui em laboratório um descasque e branqueamento piloto uma fábrica

que mimetiza o processo industrial, permitindo fazer ensaios de investigação numa escala menor. Estes equipamentos de laboratório não apresentam marca comercial pois foram desenvolvidos por técnicos da Ernesto Morgado.

Para além da componente de investigação, estes equipamentos são utilizados por parte do departamento de qualidade para realização de análises, composto por tarara (Figura 17), descascador, branqueador (Figura 18) e trior (Figura 19). Estes equipamentos foram cruciais para ir ao encontro dos objetivos deste estudo.



Figura 17 - Tarara



Figura 18 - Descascador e Branqueador
(da esquerda para a direita)



Figura 19 – Trior

3.1.1.2. Preparação das amostras e delineamento experimental

Primeiramente foram efetuadas uma série de etapas, análogas a todas as amostras de arroz em casca, antes de se proceder à transformação propriamente dita, isto é, descasque e branqueamento. Iniciou-se com a pesagem de 100 gramas de arroz em casca, seguindo com uma limpeza na tarara, de modo a retirar todas as impurezas (e.g., cascas soltas, pedras, palhas, gorgulho, etc.), esta etapa foi complementada com uma inspeção visual. Por fim mediu-se a humidade inicial do arroz com o equipamento da marca *wile 55* (Figura 20).



Figura 20 – Medidor de humidade relativa (Wile 55).

Uma vez concretizadas estas etapas iniciais, as amostras de arroz foram secas num protótipo de secador existente em laboratório, desenvolvido pela própria empresa, tendo como variante o tempo de permanência no secador, dependendo o grau de humidade pretendido em cada amostra. O secador usado não apresenta marca comercial uma vez que foi construído por técnicos da Ernesto Morgado, usado para simular a secagem a nível industrial.

Desta forma definiram-se quatro níveis de humidade:

- A.** *Teor de humidade inicial, 11-12% (denominado também de controlo)*
- B.** *Teor de humidade de 10.9 %*
- C.** *Teor de humidade de 10%*
- D.** *Teor de humidade de 9 %*

Todas as amostras que passaram pelo processo de secagem, após serem retiradas do secador, foram colocadas num frasco de vidro hermeticamente fechado, durante algumas horas, tendo como objetivo a estabilização do teor de humidade.

Sendo também objetivo do estudo, a influência da temperatura na formação de trincas, colocaram-se as amostras em dois ambientes distintos, a temperaturas diferentes, 10°C (numa câmara de refrigeração) e 40°C (numa estufa). Permaneceram neste ambientes dois dias.

Desta forma foram analisadas 3 réplicas para cada temperatura, em cada nível de humidade (exceptuando a variedade Euro que apenas apresentou três níveis de humidade), como podemos visualizar na seguinte tabela 5. Este procedimento foi repetido para as quatro variedades (Ariette, Euro, Gládio e Sírio). Na totalidade foram processadas 90 amostras de 100 gramas cada uma.

Tabela 5 - Resumo do planeamento experimental.

Fatores				
Variedade de arroz	Ariete	Euro	Gládio	Sírio
Temperaturas (°C)	10		40	
Níveis de humidade (%)	9	10	10,9	11-12

Nota: o planeamento experimental da variedade Euro apenas compreendeu os três primeiros níveis de humidade, ou seja, 9%, 10% e 10,9% de humidade.

3.1.1.3. Descasque e Branqueamento

Para a realização destas etapas recorreu-se ao descascador e branqueador, responsáveis pela remoção da casca e da película do grão de arroz, respetivamente. O funcionamento do descascador e branqueador é por fricção.

O arroz em casca depois de sair dos ambientes de armazenagem em que foi acondicionado, é introduzido no descascador, de onde se obtém arroz integral ou denominado também, arroz em película. Este segue para o branqueador, obtendo-se como matéria-prima final o arroz branqueado, ou seja, sem película. Estes procedimentos são efetuados em contínuo (i.e., o arroz não sai do equipamento). Seguidamente, o arroz é retirado do branqueador e faz-se a sua pesagem antes de entrar no último equipamento, o trior.

Na figura abaixo (figura 21) encontram-se amostras representativas de arroz branqueado das quatro variedades estudadas.



Figura 21 - Amostras de arroz branqueado das quatro variedades estudadas.

Legendas: Variedade Ariete, Euro, Gládio e Sírio (Da esquerda para a direita)

3.1.1.4. Seleção de grãos inteiros

Esta fase final da metodologia permite separar os grãos inteiros dos grãos partidos, isto é, da trinca de arroz. Para tal introduziu-se a amostra de arroz branqueado, que obtivemos anteriormente à saída do branqueador, no triador. Este equipamento faz uma separação por alveolometria, uma vez que possui uma grelha com alvéolos onde vão encaixar os grãos com dimensões mais pequenas e posteriormente depois separados num compartimento.

Esta separação foi complementada com uma separação manual e por fim, pesou-se o grão inteiro e trinca.

3.1.1.5. Cálculo do Rendimento Industrial e determinação da percentagem de grãos Partidos

O cálculo do rendimento industrial é quantificado como a quantidade de arroz branqueado, incluindo grãos inteiros e grãos partidos, denominados trincas.

De salientar que todas as amostras de arroz laboradas foram de 100 gramas, automaticamente fez-se logo uma conversão para percentagens. Desta forma apenas bastou pesar o arroz que saiu do branqueador, efetuado no ponto anterior.

Respeitante à determinação da percentagem de grãos partidos, estes são calculados tendo como base a percentagem de trinca que se obteve do arroz branqueado, desta forma, usou-se a seguinte fórmula (equação 3) para o cálculo do mesmo.

$$\text{Grãos Partidos (\%)} = \frac{\text{Trinca (g)}}{\text{Arroz Branqueado (g)}} \times 100 \quad (3)$$

Todos os procedimentos mencionados anteriormente, referente à preparação das amostras, descasque e branqueamento, e seleção dos grãos inteiros, foram efetuados de igual modo para todas as variedades de arroz estudadas (i.e., Ariette, Sírío, Euro e Gládio).

3.1.2. Parte B – Isotérmicas de adsorção

3.1.2.1. Amostras

As amostras de arroz em casca tiveram origem nos armazéns da empresa Ernesto Morgado S.A. Apenas se realizou a experiência com a variedade Ariette, uma vez ser a variedade com maior peso na empresa e de maior facilidade de aquisição.

3.1.2.2. Preparação das soluções

Para obtenção de uma atmosfera com diferentes humidades relativas, optou-se por recorrer a soluções saturadas de sais, enunciados na tabela 6, com a finalidade de conseguirmos atividades da água compreendido entre 0.11 e 0.82. As soluções de sais são soluções padrão já testadas por diversos autores em variados produtos alimentares (Baskaran, 2000; Medeiros, 2006; Olivera, 2011; Moreira, 2012; Taitano, 2012; Guiné, 2014).

Tabela 6 - Atividade da água de soluções saturadas de sais, à temperatura de 40°C.

Sais	a_w
1. Cloreto de lítio (LiCl)	0.113
2. Acetato de potássio (CH ₃ COOK)	0.205
3. Cloreto de magnésio (MgCl ₂)	0.311
4. Carbonato de potássio (K ₂ CO ₃)	0.430
5. Nitrato de magnésio (Mg(NO ₃) ₂)	0.489
6. Nitrito de sódio (NaNO ₂)	0.613
7. Cloreto de sódio (NaCl)	0.747
8. Cloreto de potássio (KCl)	0.824

Adaptado de: Olivera, 2011; Taitano, 2012; Guiné, 2014.

Quanto à preparação das soluções, estas foram preparadas à temperatura ambiente, dissolvendo os sais com água destilada. Esta etapa foi executada em frascos de vidro herméticos. Cada frasco de vidro continha uma solução.

3.1.2.3. Preparação das amostras

Iniciou-se com uma limpeza na tarara, de modo a retirar todas as impurezas (e.g., cascas soltas, pedras, palhas, gorgulho, etc.), esta etapa foi complementada com uma inspeção visual. Seguidamente a esta limpeza mediu-se a humidade inicial com o equipamento da marca *wile 55* e respetiva atividade da água no equipamento da marca *Rotronic*, representado na figura 22.



Figura 22 – Medidor da atividade da água (Rotronic).

Uma vez concretizadas estas etapas, pesaram-se as 24 placas de Petri usadas na experiência, seguindo-se a pesagem de, aproximadamente, 5 g de *paddy* em cada placa devidamente identificadas.

3.1.2.4. Construção da atividade para determinação das isotérmicas de adsorção

A fim de se determinar as propriedades de adsorção da água no arroz, foi necessário construir um recipiente. Para tal fabricaram-se uns suportes metálicos para colocar no interior dos frascos de vidro herméticos, onde já se tinham depositadas as soluções salinas saturadas. Cada suporte metálico tinha capacidade para 3 placas de Petri, de forma a se conseguir amostras em triplicado por cada frasco. Na figura 23 pode observar-se o aspeto final do recipiente utilizado para o estudo de adsorção.



Figura 23 - Aspeto final de um recipiente de adsorção

As 24 placas de *petri* com arroz em casca, preparadas no ponto anterior, foram distribuídas pelos frascos. Estes foram devidamente fechados e colocados numa estufa a 40°C. Periodicamente procedeu-se a pesagem das placas numa balança analítica (Mettler Toledo, modelo AB204-S) de precisão de 0.001g.

Selecionou-se a temperatura de 40°C de forma a simular a secagem dos grãos de arroz na gama de temperatura normalmente utilizada na empresa Ernesto Morgado (a secagem é executada a temperaturas entre 35 – 53°C).

Como critério para dar como terminada a experiência, optou-se pela variação de 0.001g em três pesagens sucessivas.

Dado que o tempo disponível para a realização da experiência não foi suficiente para que as amostras atingissem o equilíbrio, não foi possível determinar o teor final de água de cada amostra e respetivo ajuste a modelos matemáticos com a finalidade de obter a curva de adsorção do arroz. Pelo que, este ensaio encontra-se a decorrer nas instalações da Ernesto Morgado, será concluída pelos funcionários responsáveis e as conclusões serão utilizadas para estudos internos da empresa.

3.1.2.5. Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados foi realizada pelo programa estatístico *Software statistica*. A significância (p) adotado foi de 0,05 para cada um dos efeitos estudados (humidade, temperatura e variedade) no rendimento industrial e percentagem de trincas, foi avaliada com recurso a diagrama de pareto obtido a partir de uma análise de variância (ANOVA) feita a cada variedade de arroz, cujos resultados se encontram nos anexos I, II, III e IV.

Considerou-se uma análise a três fatores: humidade, temperatura e variedade. O fator humidade com quatro níveis (excetuando a variedade Euro), sendo eles: 9 %, 10%, 10,9% e 11-12%. O fator temperatura com dois níveis: 10°C e 40°C. Por fim, o fator variedade que encontra-se dividido em quatro níveis: Ariete, Euro, Gládio e Sírio.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As amostras de arroz armazenadas com diferentes percentagens de humidade e diferentes temperaturas foram descascadas e branqueadas de igual forma. Estas etapas foram efetuadas à escala laboratorial, com equipamentos que simulam o processamento de arroz à escala industrial.

A seguinte análise de resultados vai ao encontro dos objetivos traçados, mais concretamente, o impacto no rendimento industrial e percentagem de grãos partidos ou trinca nas diferentes variedades de arroz, sob diferentes condições de armazenagem. Desta forma o estudo incidiu sobre dois parâmetros principais: Rendimento industrial e percentagem de grãos partidos ou trinca. Como forma de complemento, analisou-se também a percentagem de grãos inteiros para as quatro variedades sob as mesmas condições (Anexo I, II, III, IV).

Referente à elaboração das isotérmicas, não foi possível concluir o estudo dentro do prazo do estabelecido para a elaboração do estágio, encontrando-se o ensaio ainda a decorrer na empresa. Por este facto não é possível apresentar resultados passíveis de discussão.

4.1. Parte A – Influência da humidade e temperatura no processamento de arroz das quatro variedades.

No desenvolvimento da parte A do estudo, estudaram-se três fatores relativos às condições de armazenagem, por forma a avaliar qual o impacto dos mesmos no rendimento industrial e na formação de trinca de arroz. Os três fatores analisados foram:

- Humidade: 9%, 10%, 10,9% e 11-12%;
- Temperatura: 10°C e 40°C;
- Variedade: Ariete, Euro, Gládio e Sírío.

4.1.1. Variedade Ariete

Os resultados relativamente ao rendimento industrial e percentagem de trinca nos quatro patamares de humidade, às temperaturas de 10 e 40°C, encontram-se representados na figura 24. A humidade à qual se laborava esta variedade na empresa era de 11,6%, desta forma estabeleceu-se este teor de humidade como o máximo conseguido para a realização do estudo.

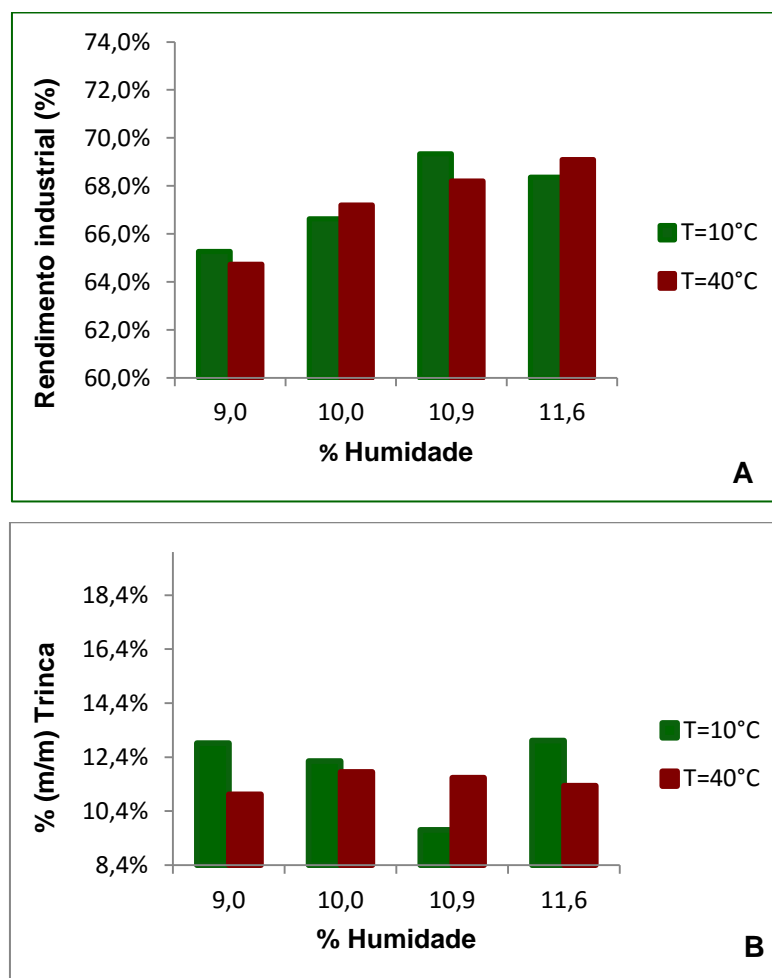


Figura 24 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Ariete.

Em relação ao rendimento industrial verifica-se que este é pouco influenciado por diferenças de temperatura, tal como se observa na figura 24 (A), as curvas de 10°C e 40°C encontram-se muito próximas uma da outra. No entanto é visível um aumento do rendimento industrial com o aumento da humidade. Por isto, para a variedade Ariete, as condições 10,9% de humidade e 10°C são as mais favoráveis, com um rendimento industrial de 69,33%. O ensaio realizado nestas condições foi repetido para comprovar estes resultados.

Os resultados observados vão ao encontro de estudos realizados (Faroni, 1998; Stockli *et al.*), onde se confirmou que variação da temperatura está associada a perdas de qualidade (i.e., valor nutritivo, fermentações e modificações organoléticas) e menos a perdas físicas (refletidas tanto no rendimento industrial como na formação de grãos partidos) dos grãos, logo não seria de esperar diferenças significativas entre as diferentes temperaturas. Houston (1972) afirmou que a armazenagem a temperaturas baixas acarreta mais vantagens ao nível da manutenção das características do grão, o que vai ao encontro dos resultados, uma vez que o rendimento industrial mais elevado foi conseguido à temperatura mais baixa.

Relativamente à percentagem de trinca verifica-se à temperatura de 40°C não há uma variação significativa de percentagem de grãos partidos com o aumento do teor de humidade, o

mesmo não se observa à temperatura de 10°C, onde há uma diminuição da percentagem de trinca com o aumento da humidade mas o ultimo patamar de humidade (11,6%) obteve a maior quantidade de grãos partidos. Pelo que para esta variedade as condições de armazenamento que minimizam a formação de trinca são 10,9% de humidade a 10°C, com 9,71% de trinca.

Conforme foi comprovado em estudos realizados anteriormente (Gbabo *et al.*, 2014; Kunze, 2008), o grão de arroz com teores de humidade muito baixas apresentam os grânulos de amido mais “contraídos”, menos “flexíveis” o que vai originar mais quebras aquando sujeito a forças de fricção, predominantes no descasque e branqueamento.

As condições favoráveis de armazenamento de forma a maximizar o rendimento industrial e diminuir a percentagem de trinca coincidem, logo é possível afirmar que estas condições ótimas para esta variedade permitem obter mais quantidade de grãos branqueados, constituídos por menos grãos partidos.

Na figura 25 encontram-se resumidos os diagramas de pareto referentes à ANOVA dos resultados da variedade Ariete ($p < 0,05$).

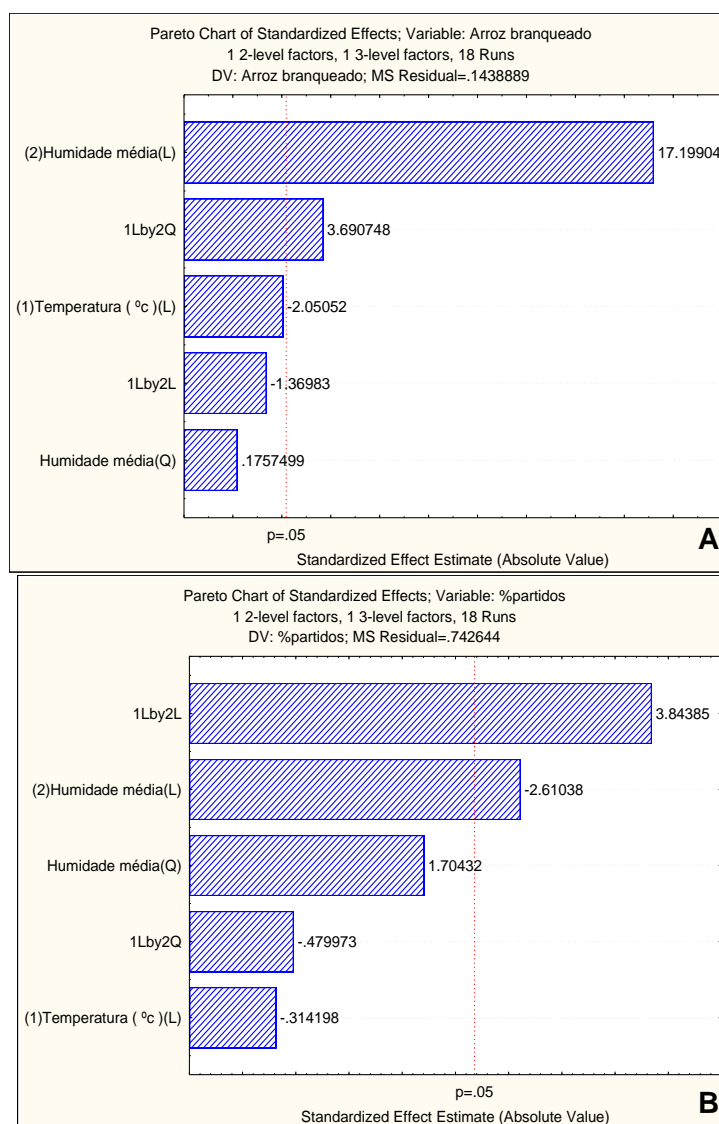


Figura 25 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Ariete.

A partir da análise da figura 25 (A), observa-se que há uma influencia linear significativa da humidade no rendimento industrial e que a interação entre humidade e temperatura também apresenta alguma influência, ainda que menos significativa.

Verifica-se que a interação entre a humidade e temperatura é a que mais influencia a percentagem de trinca e que a humidade influencia mais esta variável depende que a temperatura, existindo uma influencia linear significativa da humidade.

Estes resultados apoiam as observações apresentadas relativamente à figura 24.

4.1.2. Variedade Euro

No caso da variedade Euro apenas se estudaram três níveis no fator humidade, isto deve-se ao facto da humidade controlo ou inicial, ou seja, a humidade à qual se laborava esta variedade na empresa ser de 10,9%, desta forma estabeleceu-se este teor de humidade como o máximo conseguido para a realização do estudo, coincidindo com o patamar inferior.

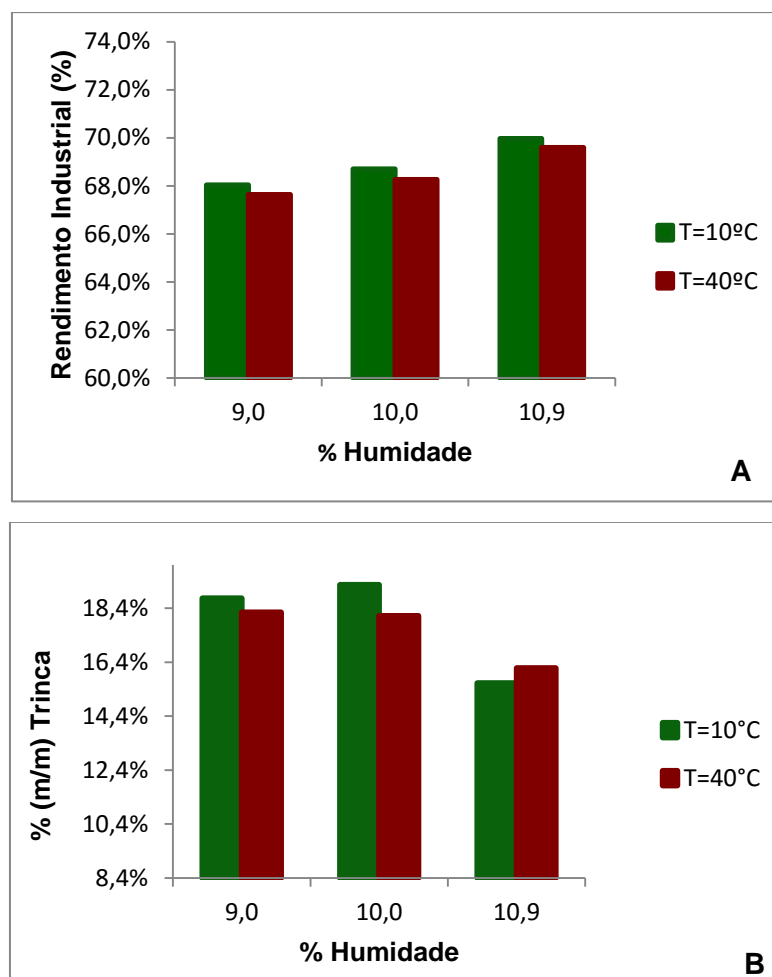


Figura 26 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Euro.

Na figura 26 (A) representa-se a variação do rendimento industrial com as variações das variáveis independentes. Após análise é possível verificar que o rendimento industrial de arroz é pouco afetado por diferenças de temperatura, uma vez que as curvas de 10°C e 40°C estão praticamente sobrepostas uma na outra, comportando-se de igual forma a diferenças no teor de humidade. É perceptível um aumento do rendimento industrial com o aumento da humidade. Logo, para a variedade Euro, as condições favoráveis a um rendimento industrial mais elevado são de 10,9% de humidade e 10°C, alcançando 69,97% de arroz branqueado. As condições de 10,9% de humidade e 40°C apresentam também ótimos resultados, com uma ligeira descida do rendimento industrial para 69,60%.

Tal como se observou em estudos realizados (Faroni, 1998; Stockli *et al.*), em que se constatou que variação da temperatura teve um impacto reduzido em perdas físicas dos grãos, por isto não seria de esperar diferenças significantes entre as diferentes temperaturas. Houston (1972) comprovou que temperaturas baixas na armazenagem de grãos de arroz apresentam mais vantagens ao nível da manutenção das características do grão, o que vai ao encontro dos resultados, uma vez que a curva representativa da temperatura baixa situa-se mais acima que a da temperatura elevada.

Quanto à percentagem de trinca verifica-se uma diminuição da percentagem de trinca com o aumento da humidade, alcançando uma menor percentagem de grãos partidos à temperatura de 10°C com um teor de humidade de 10,9% (semelhante com armazenagem a 40°C), com 15,63% de trinca.

Análogo ao que foi comprovado em estudos realizados (Gbabo *et al.*, 2014; Kunze, 2008) com teores de humidade baixas, os grãos de arroz tem os grânulos de amido mais “contraídos”, menos “flexíveis” o que se vai influenciar maior número de quebras no processamento, onde os grãos são sujeitos a forças de fricção.

Para uma melhor conservação de grãos de arroz desta variedade, maximizando o rendimento industrial e diminuindo a percentagem de trinca é recomendável armazenar a 10°C com um teor de humidade de 10,9%.

Na figura 27 encontram-se resumidos os diagramas de pareto referentes à ANOVA dos resultados da variedade Euro ($p < 0,05$).

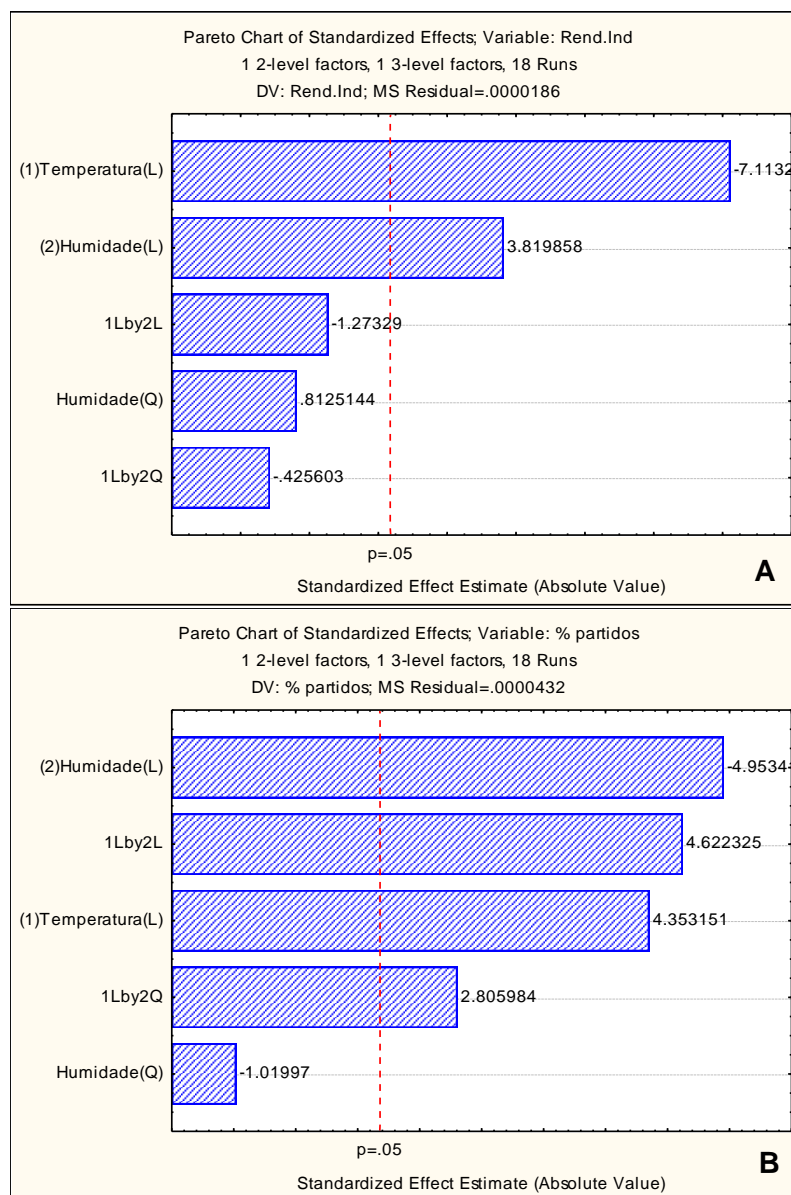


Figura 27 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Euro.

Da análise do diagrama de pareto referente ao rendimento industrial (figura 27 (A)), é notória uma influência linear significativa da temperatura e da humidade. No entanto, a interação entre humidade não contribui significativamente ($p < 0,05$) para a variável em estudo.

Quanto à variável de percentagem de trinca, a humidade é a variável independente que contribui mais embora a temperatura também tenha significância. Verifica-se um efeito da interação entre humidade-temperatura.

4.1.3. Variedade Gládio

Os resultados relativamente ao rendimento industrial e percentagem de trinca nos quatro patamares de humidade, às temperaturas de 10 e 40°C, encontram-se expostos na figura 28. A humidade à qual se laborava esta variedade na empresa era de 11,1%, por isto estabeleceu-se este teor de humidade como o máximo conseguido para a realização do estudo.

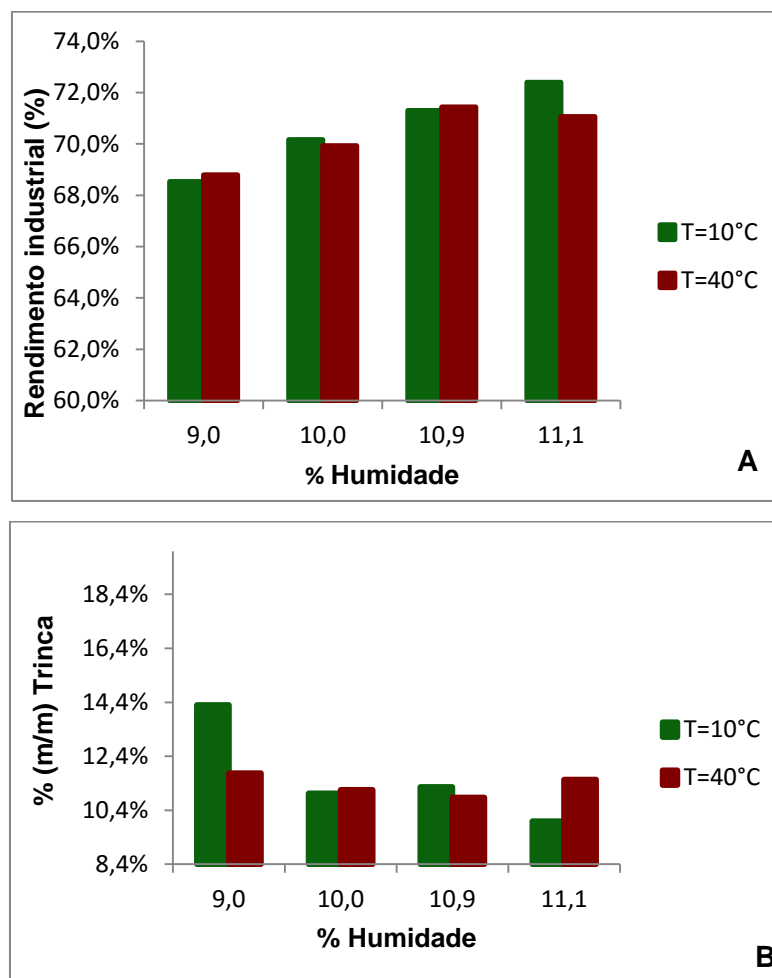


Figura 28 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Gládio.

Verifica-se que o rendimento industrial aumenta linearmente com a humidade a 10°C, mas à temperatura de 40°C. Desta forma pode afirma-se que o rendimento industrial é pouco influenciado pela temperatura (figura 28 A), Em relação à humidade, observa-se um aumento do rendimento industrial com o aumento da humidade até ao patamar de 10,9% de humidade, sendo que no ultimo patamar (11,1%) o comportamento da variedade foi contrário, isto é, à temperatura de 10°C houve um aumento do rendimento industrial enquanto a 40°C o rendimento industrial diminuiu. Assim sendo as condições 11,1% de humidade e 10°C são as mais favoráveis, com um rendimento industrial de 72.40%, para a variedade Gládio.

Os resultados relativos ao rendimento industrial vão ao encontro com estudos realizados (Faroni, 1998; Stockli *et al.*), onde se salienta que variação da temperatura não está associada a perdas físicas do grão, ou seja, perdas do grão durante o descasque e branqueamento, mas sim perdas de qualidade (i.e., valor nutritivo, fermentações e modificações organoléticas). No entanto na determinação de condições benéficas para o armazenamento, as temperaturas baixas revelam-se mais vantajosas, tal como comprovou Houston (1972).

Após análise da percentagem de trinca na figura 28 (B) verifica-se que à temperatura de 40°C não há uma variação considerável da percentagem de grãos partidos ao longo de variações de humidade, contrariamente à temperatura de 10°C, onde a percentagem de trincas diminui consideravelmente com o aumento da humidade, alcançando condições favoráveis de armazenamento à temperatura de 10°C com 11,1% de humidade, com 9,99% de grãos partidos.

Para a variedade Gládio, as condições de armazenamento que maximizam o rendimento industrial e minimizam a formação de trinca são 11,1% de humidade a 10°C.

Alguns autores (Gbabo *et al.*, 2014; Kunze, 2008), estudaram a influência de teores baixos de humidade no comportamento dos grânulos de amido no núcleo de grão de arroz, concluindo que nestas condições, os grânulos de amido mais “contraídos”, menos “flexíveis” o que vai originar mais quebras aquando sujeito a forças de fricção, predominantes no descasque e branqueamento, o que vai ao encontro dos resultados obtidos onde as percentagens de trinca mais elevadas correspondem a teores de humidades mais baixos.

Na figura 29 encontram-se resumidos os diagramas de pareto referentes à ANOVA dos resultados da variedade Gládio ($p < 0,05$).

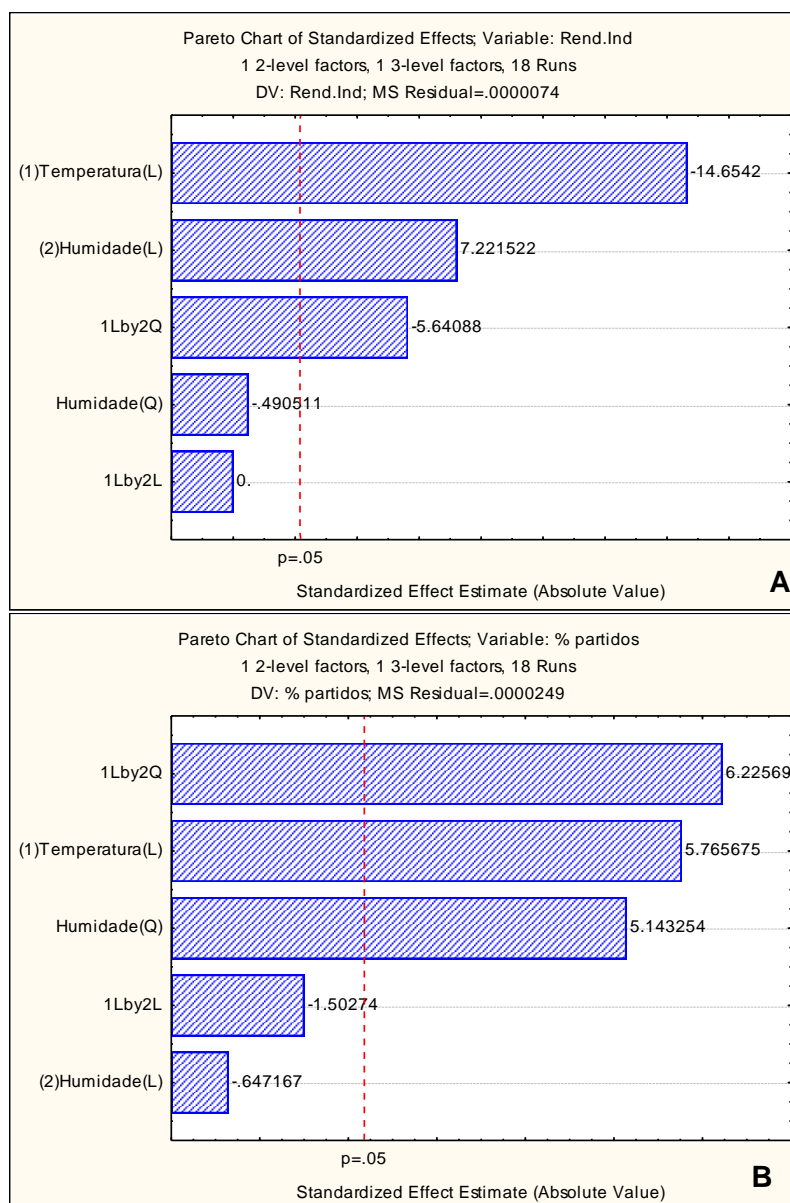


Figura 29 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Gládio.

Verifica-se na figura 29 (A) que a interação entre a humidade e temperatura tem um impacto mais marcante no rendimento industrial para a variedade Gládio. Em termos dos factores individuais, a temperatura é a que tem um efeito mais notório sobre esta variável dependente. No entanto, o efeito quadrático da humidade também se faz sentir de modo significativo.

Observa-se um efeito idêntico em termos de percentagem de trinca de grãos de arroz (figura 29 (B)).

Estes resultados validados estatisticamente não permitem suportar na totalidade as observações prévias feitas a partir da figura 28.

4.1.4. Variedade Sírio

Os resultados referentes ao rendimento industrial e percentagem de trinca nos quatro patamares de humidade, às temperaturas de 10 e 40°C, encontram-se expostos na figura 30. A humidade à qual se processa a variedade Sírio na empresa era de 11,7%, desta forma estabeleceu-se este teor de humidade como o máximo conseguido para a realização do estudo.

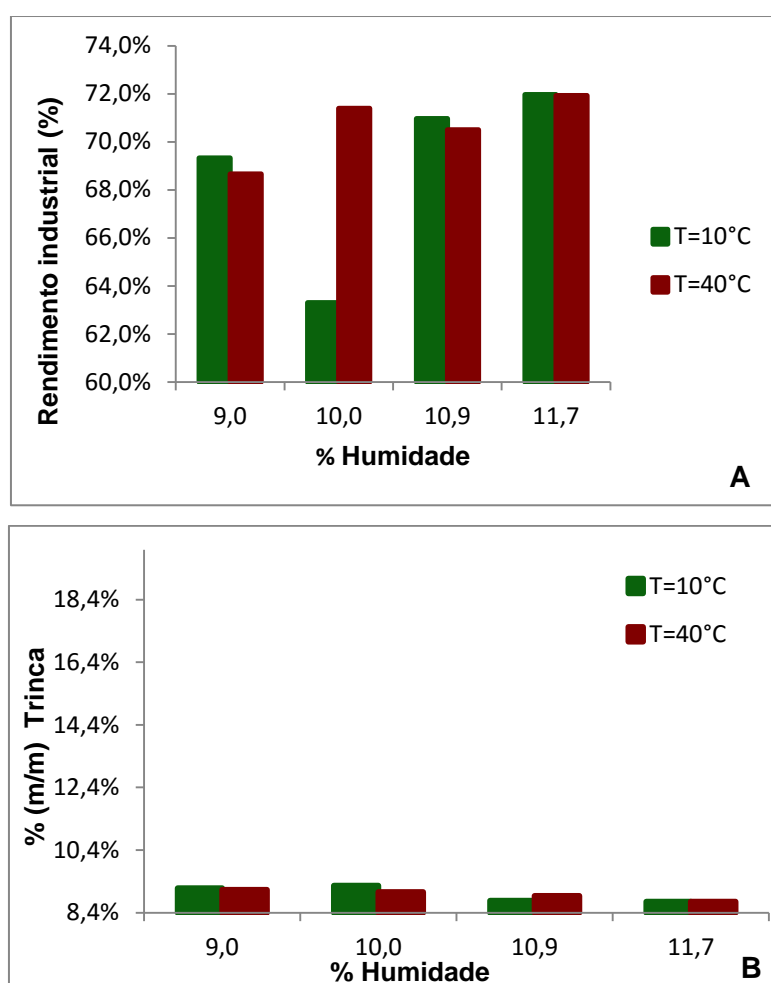


Figura 30 - Variação do rendimento industrial (A) e da Percentagem de trinca, com a variação da humidade (%) e temperatura (°C), para a variedade Sírio.

Na variável dependente, rendimento industrial, verificar-se que, excetuando o ponto de 10°C a 10% de humidade, variações de temperatura não influenciam claramente o rendimento industrial, o que leva a considerar o ponto de 10% de humidade a 10°C um conjunto de

condições desfavoráveis para esta variedade, uma vez ser aquele onde se obtém um rendimento mais baixo (63,30%).

No entanto, para a variedade Sírio, as condições 11,7% de humidade e 10°C ou 40°C são as mais benéficas, com um rendimento industrial de 71,93%.

A variável dependente, percentagem de trinca, não apresenta variações significativas aquando da alteração da temperatura de armazenamento e com a variação dos teores de humidade a percentagem de grãos partidos não é muito notória. Mesmo assim é possível observar um mínimo de percentagem de trinca, conseguido com armazenagem a 10°C ou 40°C com 11,7% de humidade (8,76% trinca).

As condições favoráveis de armazenamento de forma a maximizar o rendimento industrial e diminuir a percentagem de trinca coincidem, isto é, 11,7% humidade – 10°C/40°C.

Os valores conseguidos respeitante ao rendimento industrial coincidem com os resultados de estudos desenvolvidos (Faroni, 1998; Stockli *et al.*) na mesma área, onde se comprovou que diferentes humidades não têm um impacto significativo nesta variável depende, quando se labora a humidades baixas, como é o caso deste experiência.

Paralelamente, os resultados da percentagem de trinca foram ao encontro do que era expectável, tal como se comprovou em estudos efetuados (Gbabo *et al.*, 2014; Kunze, 2008), onde se obteve maior número de grãos partidos a humidades baixas, sendo os grânulos de amido responsáveis por este comportamento uma vez que formam uma estrutura mais rígida e sensível a tensões, originando mais trinca durante o seu processamento.

Na figura 31 encontram-se resumidos os diagramas de pareto referentes à ANOVA dos resultados da variedade Sírío ($p < 0,05$).

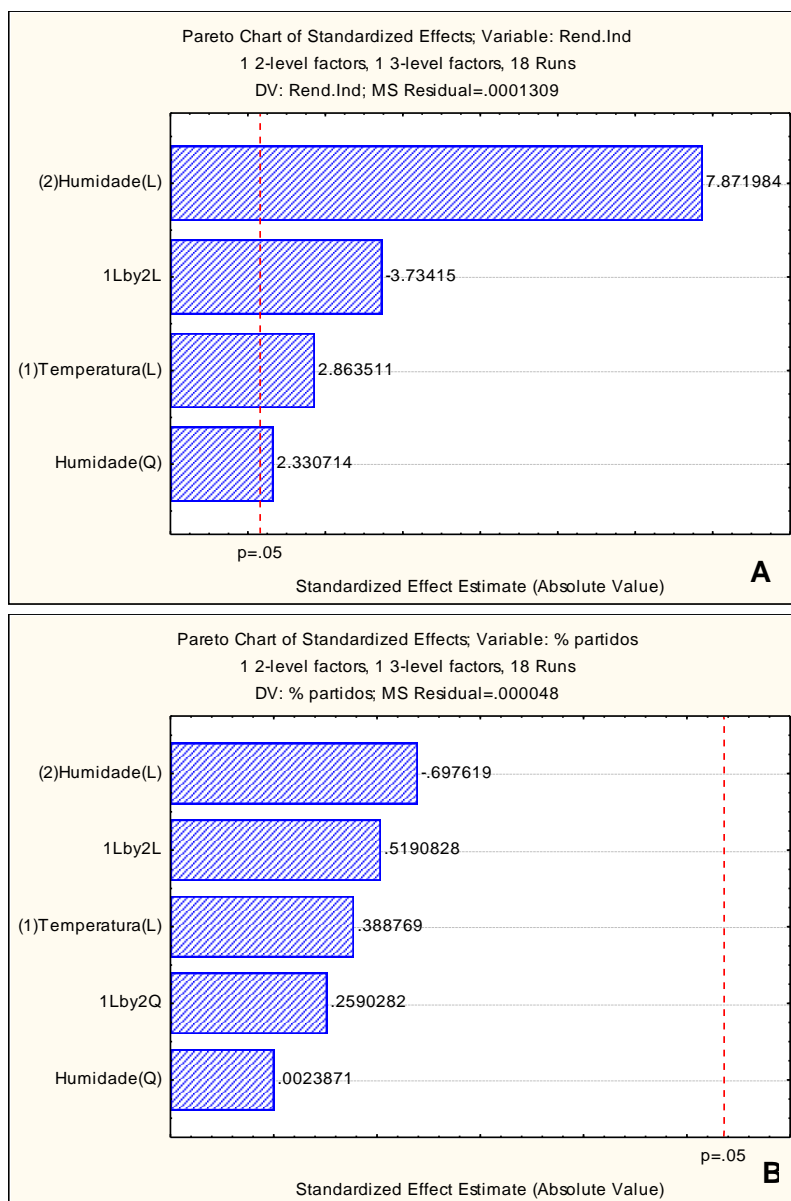


Figura 31 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, no rendimento industrial (A) e na percentagem de trinca (B), na variedade Sírío.

Após análise da figura 31(A), observa-se que a humidade tem um efeito significativo no rendimento industrial, assim como a temperatura e a interação entre factores, embora com impacto menor. O efeito quadrático da humidade também apresenta alguma influência na variável em estudo.

Na percentagem de trinca, em termos dos factores individuais e de interação (lineares e quadraticos) não se observa um efeito significativo (Figura 30 (B)).

4.1.5. Análise factorial

A análise fatorial é uma análise complementar aos resultados apresentados, no sentido de avaliar o efeito de cada uma das variáveis independentes (humidade, temperatura e variedade) no comportamento das variáveis dependentes (rendimento industrial, percentagem de trinca e percentagem de grãos inteiros).

Na prática, se a variável humidade tiver um efeito estatisticamente significativo, indica que em média, seja qual for a temperatura e variedade de arroz, há diferenças entre variedades. A mesma interpretação é feita tanto para o fator “temperatura” e “variedade”.

Relativamente ao efeito de interação temperatura x humidade, se for estatisticamente significativo, então as diferenças entre temperaturas dependem das humidades em estudo. O mesmo acontece quando se averigua o efeito de interação variedade x humidade e efeito de interação da humidade x temperatura, se estes efeitos forem estatisticamente significantes, então as diferenças entre variedade dependem da humidade, assim como as diferenças entre humidade depende da temperatura, respetivamente.

Na figura 32 está representada a análise factorial para o parâmetro, rendimento industrial.

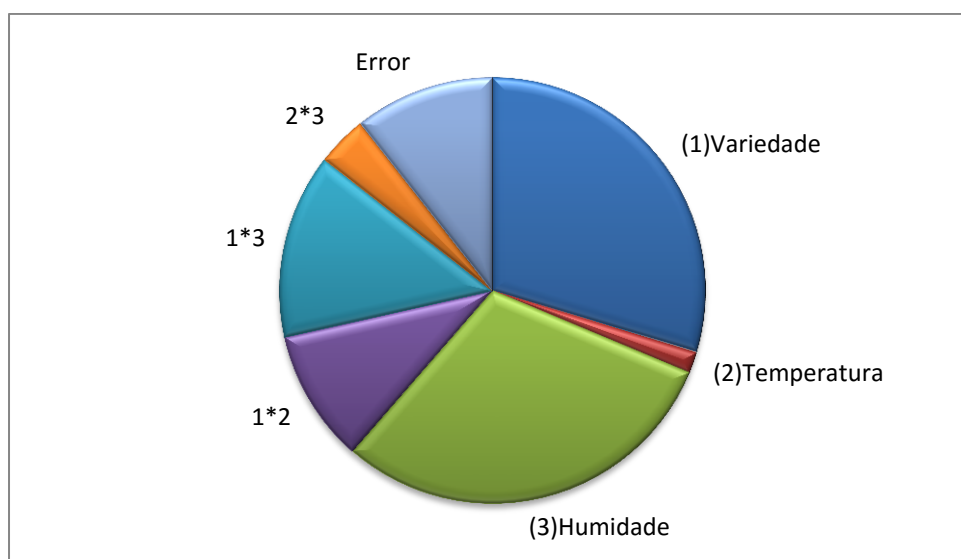


Figura 32 - Percentagem das somas quadráticas da análise de variância do rendimento industrial, explicadas pelas diferenças entre humidade, temperatura e variedades.

Quanto ao rendimento industrial, verifica-se que as diferenças observadas resultam mais da variedade de arroz. No entanto a humidade também tem bastante impacto. Destaca-se a interação (1*3) variedade x humidade como sendo a que tem maior impacto no rendimento industrial, logo se esta interação é estatisticamente significativa então as diferenças as diferenças entre variedades dependem das humidades em estudo, tal como seria de esperar.

Na figura 33 está representada a análise factorial para o parâmetro, percentagem de trinca.

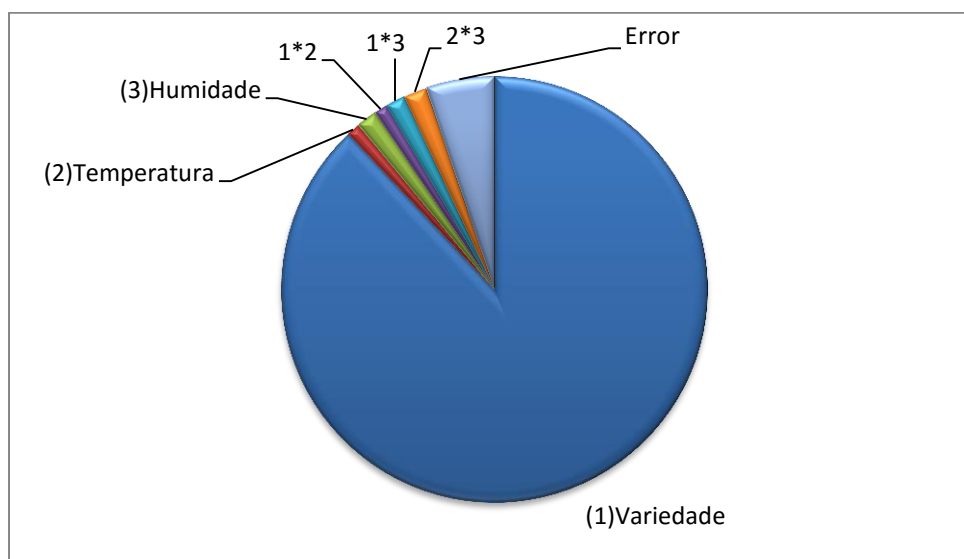


Figura 33 - Percentagem das somas quadráticas da análise de variância da percentagem de trinca explicadas pelas diferenças entre humidade, temperatura e variedades.

A partir da figura 33 verifica-se que a percentagem de trinca depende essencialmente da variedade de arroz utilizada. Os restantes parâmetros e respetivas interações têm um impacto muito menor na percentagem de grãos partidos.

Algumas diferenças são justificadas pelo erro.

Após análise das quatro variedades processadas é de salientar os valores irregulares de percentagem de trinca, não se conseguindo percentagens semelhantes em variedades da mesma subespécie, o que não era expectável dado que os grãos de arroz da variedade Ariete e Euro deveriam apresentar resultados semelhantes assim como os da variedade Gládio e Sírio. Estes resultados expectáveis seriam justificados pelas dimensões semelhantes entre arroz de arroz da mesma subespécie, assim como composição química.

O suposto seria que os grãos Japónicas partissem menos uma vez que apresentam uma estrutura mais arredonda ao contrario dos Índica que têm uma estrutura mais alongada, tornando-os mais suscetíveis a quebra (menor área de contacto).

As diferenças das percentagens de trinca não podem ser justificadas pela sua composição dado que para além de grãos de arroz da mesma subespécie apresentarem proporção semelhante de amido (amilose e amilopectina) e proteína, alterações destes componentes só se manifestam a teores de humidade elevadas, o que não vai ao encontro dos níveis de humidade analisados neste estudo.

A seguinte tabela 7 apresenta de uma forma resumida as condições mais favoráveis de armazenamento das quatro variedades (individualmente) e respetivos valores atingidos, por forma a maximizar o rendimento industrial do processamento de arroz, minimizando a percentagem de trinca.

Tabela 7 - Tabela resumo das condições mais favoráveis de armazenagem para as quatro variedades.

Subespécie	Variedades	Rendimento industrial		% de trinca	
Japónica	Ariete	10,9% H	69,33%	10,9% H	9,71%
		10°C		10°C	
Índica	Euro	10,9% H	69,97%	10,9% H	15,63%
		10°C		10°C	
	Gládio	11,1% H	72,40%	11,1% H	9,99%
		10°C		10°C	
	Sírio	11,7% H	71,93%	11,7% H	8,76%
		10°C ou 40°C		10°C ou 40°C	

5. CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado em contexto industrial sobre os fatores de armazenamento que afetam a produtividade da indústria arroseira evidenciou-se a importância do parâmetro “variedade” tanto no rendimento industrial como na percentagem de trinca.

No que diz respeito ao rendimento industrial apurou-se que as variáveis, variedade e humidade são as que mais contribuem para alterações desta variável dependente, uma vez que variedades da subespécie Indica (Gládio e Sírio) alcançaram valores de rendimento industrial mais elevados que a subespécie japónica (Ariete e Euro). O rendimento industrial apresentou uma evolução proporcional com o aumento da humidade, ou seja, baixos teores de humidade originaram baixos rendimentos industriais.

Relativamente à percentagem de grãos partidos, esta é influenciada maioritariamente pela variedade de arroz já que os valores de percentagem de trinca foram distintos entre subespécie Índica e Japónica, com diferentes teores de humidade e temperatura, não apresentando um comportamento linear entre ela, isto é, a percentagem de trinca em variedades da mesma subespécie não foram semelhantes.

Contudo, apesar da influência da temperatura não ser muito significativa nas variedades estudadas, conseguiram-se resultados ligeiramente mais favoráveis à temperatura representativa de armazenagem a temperatura baixa, 10°C.

6. BIBLIOGRAFIA

- Ambros, L. (2013). *Isotermas de sorção de farinha de jabuticaba: determinação experimental de modelos matemáticos*. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Aparroz (n.d.). *A origem de um arroz superior*. Disponível em: http://aparroz.weebly.com/uploads/2/1/6/0/21602756/apresentao_aparroz.pdf. Acesso em 28/07/2015.
- Aquerreta, J.; Iguaz, A.; Arroqui, C. & Vírveda, P. (2007). Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering* 80(2): 611-618 p.
- Badi, O. & Osamu, T. (2013). *Rice Quality*. Disponível em: www.jica.go.jp/project/.../001/.../rice_quality_en.pdf. Acesso em: 5/5/2015.
- Baskaran, V.; Mahadevamma; Balasubramanyam, N.; Malleshi, N. G. & Lokesh, B. R. (2000). Moisture sorption isotherms of nutritious supplementary foods prepared from cereals and legumes for feeding rural mothers and children. *Eur Food Res Technol* 211: 27-31 p.
- Bhatnagar, A. S.; Phabhakar, D. S.; Prasanth, P. K.; Raja, R. G. & Gopala, A. G. (2014). Processing of commercial rice bran for the production of fat and nutraceutical rich rice brokens, rice germ and pure bran. *LWT - Food Science and Technology* 58(1): 306-311 p.
- Botelho, N. (2014). *Tecnologias pós-colheita de arroz*. Disponível em: <http://www.agronegocios.eu/noticias/tecnologias-pos-colheita-de-arroz/>. Acesso em: 28/07/2015.
- Brites, C. M.; Guerreiro, M. & Modesto, M. L. (2004). *Arroz Carolino - uma jóia da nossa gastronomia*. Salvaterra de Magos.
- Brunauer, S.; Emmett, P.H. & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layer. *Journal of American Chemistry Society* 60 (2): 309-312 p.

- Buggenhout, J.; Brijs, K.; Celus, I. & Delcour, J. A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering* 117 (3): 304-315 p.
- Cnossen, A. G.; Jiménez, M. J. & Siebenmorgen, T. J. (2003). Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. *Journal of Food Engineering* 59(1): 61-69 p.
- Corrêa, P.C.; Schwanz, F.; Jaren, C.; Afonso Júnior, P. C. & Arana, I. (2007). Physical and mechanical properties in rice processing. *Journal of Food Engineering* 79(1): 137-142 p.
- Daniels, M. J.; Marks, B. P.; Siebermorgen, T. J.; McNew, R. W. & Meulleret, J. F. (1998). Effects of Long-Grain Rough Rice Storage History on End-Use Quality. *Journal of Food Science* 63(5): 832-835 p.
- Chukwuka, C. O. (2013). *Rice Storage – Different Stages Involved, Effect on Quality of Milled Rice*. Disponível em: <http://www.doublegist.com/rice-storage-stages-involved-effect-quality-milled-rice/>. Acesso em: 17/09/2015.
- Ernesto Morgado, S. A. (2014). *Arroz Pato Real*. Disponível em: www.emorgado.pt/pdf/em_2014_pt.pdf. Acesso em: 15/03/2015.
- Ernesto Morgado, S. A. (2015). *Fluxograma do Arroz e Subprodutos*. Documento interno. Alqueidão, Figueira da Foz.
- Euroimpala (2009). *As melhores receitas com arroz*. 1ª edição. Sintra. 88 p.
- Faroni, L. R. (1998). *Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 15 p.
- Gbabo, A. & Ndagi, B. (2014). Performance Evaluation of a Ricemill Developed in NCRI. *International Journal of Engineering Research* 5(8): 482-487 p.
- Guiné, R.P.; Barroca, M. J.; Pereira, D. & Correia, P. M. (2014). Adsorption isotherms of maria biscuits from different brands. *Journal of Food Process Engineering* 37: 329-337 p.

- Holcomb, R. B.; Rister, M. E.; Webb, B. D.; Miller, R. K.; Bett, K.; McClung, A.; Goodwin, H. L.; Dahm, F.; Faltisek, L.; Stansel, J. W.; Koop, L. A.; Sturdivant, A.; Maca, I.; Nichols, J. P.; Branson, R.E.; Delgado, J.; Ward, J. B. & Gates, C. (1997). *Effects of rough rice storage time and temperature on aromatic rice grain quality characteristics*. Projecto. Department of Agricultural Economics, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Agricultural Extension Service. Texas A & M University. Estados Unidos. 20 p.
- Hoseney, R. C. (1986). *Principles of cereal science and technology*. U.S.A.: American Association of cereal chemists, Inc. Estados Unidos. 327p.
- Houston, D. F. (1972). *Rice: chemistry and Tecnology*. 4ª edição. American Association of Cereal chemistry. Estados Unidos. 517 p.
- IGP. (2011). *Caderno de Especificações do Arroz Carolino do Baixo Mondego*. Agricabazc. 45 p.
- Iguaz, A.; Rodriguez, M. & Virseda, P. (2006). Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. *Journal of Food Engineering* 77(4): 803-809 p.
- Kent, N. L. (1975). *Tecnology of cereals with special reference to wheat*. 2ª Edição. Pergamon Press. 306 p.
- Kunze, O. R. (2008). Effect of Drying on Grain Quality - Moisture Readsorption Causes Fissured Rice Grains. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 10(1): 17 p.
- Lan, Y. & Kunze, O. R. (1996). Relative Humidity Effects on the Development of Fissures in Rice. *Cereal ChemistrY* 73(2): 222-224 p.
- Lusosem, S. A. (2014). *Catálogo Arroz*. Disponível em: http://www.lusosem.pt/mediaRep/lusosem/files/Arroz/Catalogo_Arroz_2014.pdf. Acesso em: 25/03/2015.
- McGee, H. (2004). *On food and cooking*. Scribner. Nova Iorque. 884 p.
- Medeiros, M. L.; Ayrosa, A. M.; Pitombo, R. N. & Lannes, S. C. (2006). Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of food engineering* 73: 402-406 p.
- Ministério Agricultura, D. R. e P. (2000). Decreto Lei n.º 62/2000 de 19 de Abril. *Portugal, Diário da República*. 93 SÉRIE I-A: 1689-1691 p.

- Moreira, R.; Chenlo, F.; Prieto, D. M. & Torres, M. D. (2012). Water Adsorption Isotherms of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Food Bioprocess Technol* 5: 1077-1082 p.
- Mujumdar, A. S. (1995). *Handbook of Industrial Drying*. 2ª edição. CRC Press. 742 p.
- Nakayama, S. (2005). Molecular cytological diversity in cultivated rice *Oryza sativa* subspecies japonica and indica. *Breed Science* 55(4): 425-430 p.
- Novarroz (2015). *Mundo do Arroz*. Disponível em: <http://novarroz.pt/mundo-do-arroz/>. Acesso em: 23/03/2015.
- Nunes, J. L. (n.d.). *Arroz - Características do Arroz (Oryza sativa)*. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/caracteristicas.aspx>. Acesso em: 5/6/2015.
- Olivera, F. C.; Marczac, L. D.; Noreña, C. P. & Pettermann, A. C. (2011). Modeling Water Adsorption Isotherms of Pinhão (*Araucaria Angustifolia* Seeds) Flour And Thermodynamic Analysis of the Adsorption Process. *Journal of Food Engineering* 34(3): 826-843 p.
- Ranalli, R. P.; Howell, T. A. & Siebenmorgen, T. J. (2003). Effects of Controlled Ambient Aeration on Rice Quality During On-Farm Storage. *American Association of Cereal Chemists* 80(1): 9-12 p.
- Rodvalho, R. S. (2008). *Determinação e modelagem matemática das isotermas de sorção do arroz vermelho (Oryza sativa L.)*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás. Anápolis.
- Rosa, T. (2008). *O livro essencial do Arroz*. Dinalivro. 304 p.
- Seravalli, E. & Ribeiro, E. (2004). *Química de Alimentos*. 2ª Edição. Editora Blucher. São Paulo. 184 p.
- Silva, J.; Afonso, A. & Donzelles, S. (n.d.). *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas – Secagem e secadores*. 32 p.
- Silva, M. V. (1969). *Arroz*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 451 p.
- SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação (1999). *Sector Agro-Alimentar do Arroz em Portugal*. Disponível em: www.ania.pt/2Variedades.pdf. Acesso em: 5/5/2015.

- Stockli, D. M., & Pedersen, J. R. (1994). Effects of rice storage conditions on the quality of milled rice. *Proceedings of the 6th International working Conference on Stored-product Protection* 2: 706-711 p.
- Tecnoalimentar (2015). *Ernesto Morgado, S.A.: Arroz que nasce nas margens do Mondego*. Retrieved from <http://www.tecnoalimentar.pt/noticias/ernesto-morgado-s-a-arroz-que-nasce-nas-margens-do-mondego/>.
- Taitano, L. Z.; Singh, R. P.; Lee, J. H. & Koug, F. (2012). Thermodynamic analysis of moisture adsorption isotherms of raw and blanched almonds. *Journal of Food Process Engineering* 35 (6): 840-850 p.
- Walter, M.; Marchezan, E. & Avila, A. (2008). Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural* 38(4): 1184-1192 p.
- Wani, A. A.; Singh, P.; Shah, M. A.; Weisz, U. S.; Gul, K. & Wani, I. A. (2012). Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11(5): 417-436 p.

7. ANEXOS

Anexo I – Análise de variância (ANOVA) dos três parâmetros: percentagem de grãos partidos, rendimento industrial e percentagem de grãos inteiros, da variedade Ariete.

Tabela 8 – Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.

ANOVA; Var.:%partidos; R-sqr=.67412; Adj:.53833 (Dados humidade Maio 2015) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: %partidos; MS Residual=.742644						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura (°c) L	0,07331	1	0,07331	0,09872	0,758766	
(2)Humidade média L+Q	7,21759	2	3,6088	4,85939	0,02845	
1*2	11,14379	2	5,57189	7,50278	0,007698	
Error	8,91173	12	0,74264			
Total SS	27,34642	17				

Tabela 9 – Resultados da análise do rendimento industrial.

ANOVA; Var.:Arroz branqueado; R-sqr=.96336; Adj:.9481 (Dados humidade Maio 2015) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Arroz branqueado; MS Residual=.1438889						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura (°c) L	0,605	1	0,605	4,2046	0,062814	
(2)Humidade média L+Q	42,56778	2	21,28389	147,9189	0	
1*2	2,23	2	1,115	7,749	0,006907	
Error	1,72667	12	0,14389			
Total SS	47,12944	17				

Tabela 10 - Resultados da análise da percentagem de grãos de arroz inteiro.

ANOVA; Var.:Grãos inteiros branqueados; R-sqr=.90846; Adj:.87031 (Dados humidade Maio 2015) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Grãos inteiros branqueados; MS Residual=.5388889						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura (°c) L	0,32	1	0,32	0,59381	0,455852	
(2)Humidade média L+Q	54,24333	2	27,12167	50,32887	0,000001	
1*2	9,61	2	4,805	8,91649	0,004236	
Error	6,46667	12	0,53889			
Total SS	70,64	17				

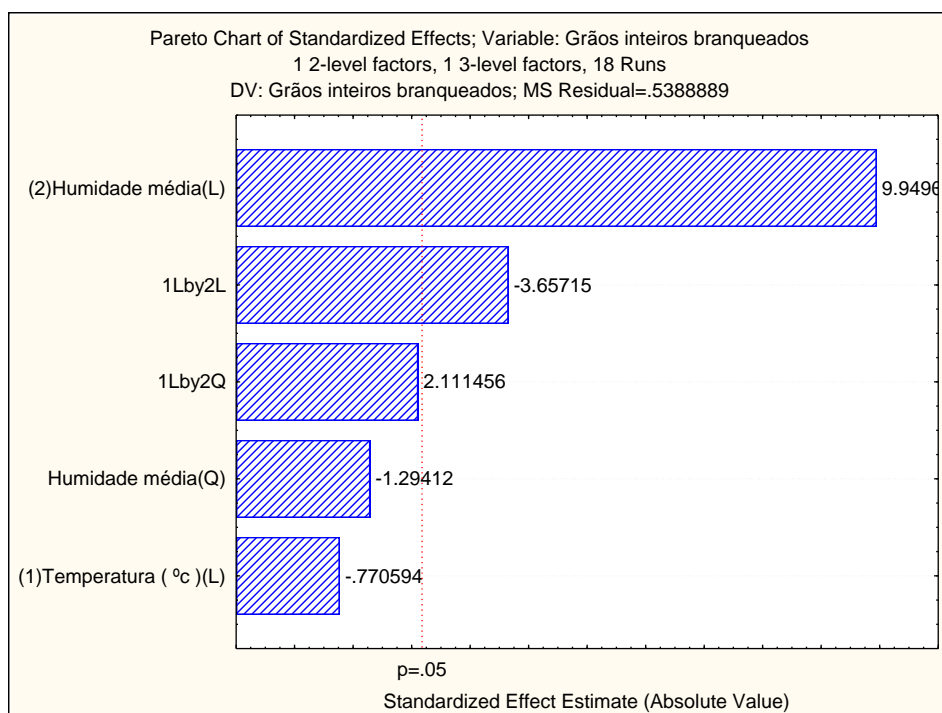


Figura 34 – Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Ariete.

Tabela 11 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Euro analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.

Cód. Amostra	T	HR	Arroz Branqueado	Trinca	Grãos Inteiros	Grãos partidos
10GH01	10	11,60%	68,60%	8,90%	59,70%	12,97%
10GH02	10	11,60%	68,10%	8,70%	59,40%	12,78%
10GH03	10	11,60%	68,40%	9,10%	59,30%	13,30%
40GH01	40	11,60%	69,20%	7,60%	61,60%	10,98%
40GH02	40	11,60%	68,90%	7,90%	61,30%	11,47%
40GH03	40	11,60%	69,20%	8,00%	61,20%	11,56%
10AB01	10	10,90%	69,40%	6,70%	62,70%	9,65%
10AB02	10	10,90%	69,40%	6,90%	62,50%	9,94%
10AB03	10	10,90%	69,20%	6,60%	62,60%	9,54%
40AB01	40	10,90%	67,40%	7,90%	59,50%	11,72%
40AB02	40	10,90%	69,00%	7,80%	61,20%	11,30%
40AB03	40	10,90%	68,20%	8,10%	60,10%	11,88%
10CD01	10	10%	66,90%	7,80%	59,10%	11,66%
10CD02	10	10%	66,60%	7,80%	58,80%	11,71%
10CD03	10	10%	66,40%	8,90%	57,50%	13,40%
40CD01	40	10%	67,00%	7,40%	59,60%	11,04%
40CD02	40	10%	67,40%	7,70%	59,70%	11,42%
40CD03	40	10%	67,20%	8,80%	58,40%	13,10%
10EF01	10	9%	65,40%	7,40%	58,00%	11,31%
10EF02	10	9%	65,10%	8,70%	56,40%	13,36%
10EF03	10	9%	65,30%	9,20%	56,10%	14,09%
40EF01	40	9%	64,90%	7,00%	57,90%	10,79%
40EF02	40	9%	64,90%	7,10%	57,80%	10,94%
40EF03	40	9%	64,40%	7,30%	57,10%	11,34%

Anexo II – Análise de variância (ANOVA) dos três parâmetros: percentagem de grãos partidos, rendimento industrial e percentagem de grãos inteiros, da variedade Euro.

Tabela 12 - Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.

ANOVA; Var.:% partidos; R-sqr=.86008; Adj.:80179 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: % partidos; MS Residual=.0000432						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000819	1	0,000819	18,94993	0,00094	
(2)Humidade L+Q	0,001106	2	0,000553	12,78828	0,001061	
1*2	0,001264	2	0,000632	14,61972	0,000607	
Error	0,000519	12	0,000043			
Total SS	0,003708	17				

Tabela 13 – Resultados da análise do Rendimento Industrial.

ANOVA; Var.:Rend.Ind; R-sqr=.84935; Adj.:.78657 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Rend.Ind; MS Residual=.0000186						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000939	1	0,000939	50,5988	0,000012	
(2)Humidade L+Q	0,000283	2	0,000141	7,62575	0,00729	
1*2	0,000033	2	0,000017	0,9012	0,431878	
Error	0,000223	12	0,000019			
Total SS	0,001478	17				

Tabela 14 - Resultados da análise da percentagem de grãos de arroz inteiros.

ANOVA; Var.:Inteiros; R-sqr=.8786; Adj.:.82802 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Inteiros; MS Residual=.0000489						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,002027	1	0,002027	41,45568	0,000032	
(2)Humidade L+Q	0,001358	2	0,000679	13,89205	0,000753	
1*2	0,000861	2	0,00043	8,80341	0,004433	
Error	0,000587	12	0,000049			
Total SS	0,004832	17				

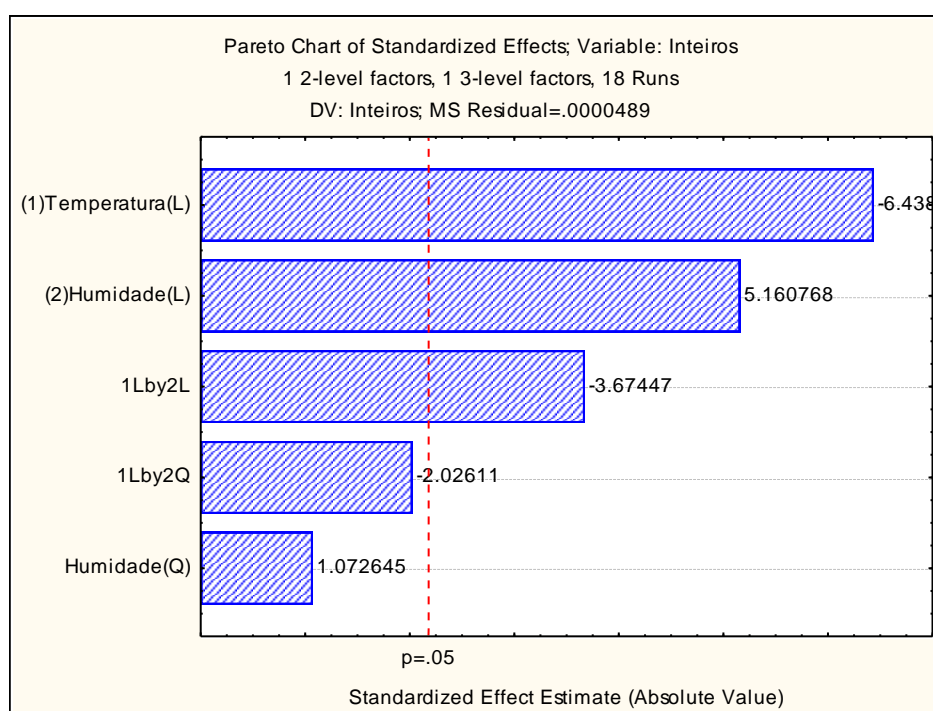


Figura 35 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Euro.

Tabela 15 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Euro analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.

Cód. Amostra	T	HR	Arroz Branqueado	Trinca	Grãos Inteiros	Grãos partidos
A10E01	10	10,90%	69,90%	10,70%	59,20%	15,31%
A10E02	10	10,90%	70,10%	10,40%	59,70%	14,84%
A10E02	10	10,90%	69,90%	11,70%	58,20%	16,74%
A40E01	40	10,90%	69,80%	11,50%	58,30%	16,48%
A40E02	40	10,90%	69,60%	11,40%	58,20%	16,38%
A40E03	40	10,90%	69,40%	10,90%	58,50%	15,71%
B10E01	10					
B10E02	10					
B10E03	10					
B40E01	40					
B40E02	40					
B40E03	40					
C10E01	10	10%	68,40%	13,10%	55,30%	19,15%
C10E02	10	10%	68,80%	13,60%	55,20%	19,77%
C10E03	10	10%	68,90%	13,00%	55,90%	18,87%
C40E01	40	10%	68,50%	12,10%	56,40%	17,66%
C40E02	40	10%	68,50%	12,50%	56,00%	18,25%
C40E03	40	10%	67,80%	12,50%	55,30%	18,44%
D10E01	10	9%	68,20%	12,30%	55,90%	18,04%
D10E02	10	9%	67,90%	13,20%	54,70%	19,44%
D10E03	10	9%	68,00%	12,80%	55,20%	18,82%
D40E01	40	9%	68,10%	12,30%	55,80%	18,06%
D40E02	40	9%	68,20%	12,00%	56,20%	17,60%
D40E03	40	9%	66,60%	12,70%	53,90%	19,07%

Anexo III – Análise de variância (ANOVA) dos três parâmetros: percentagem de grãos partidos, rendimento industrial e percentagem de grãos inteiros, da variedade Gládio.

Tabela 16 - Resultados da análise da percentagem de grãos de partidos.

ANOVA; Var.:% partidos; R-sqr=.89393; Adj:.84973 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: % partidos; MS Residual=.0000249						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000827	1	0,000827	33,24301	0,000089	
(2)Humidade L+Q	0,000669	2	0,000334	13,43595	0,000866	
1*2	0,001021	2	0,00051	20,50875	0,000134	
Error	0,000299	12	0,000025			
Total SS	0,002815	17				

Tabela 17 – Resultados da análise do rendimento industrial.

ANOVA; Var.:% partidos; R-sqr=.89393; Adj:.84973 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: % partidos; MS Residual=.0000249						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000827	1	0,000827	33,24301	0,000089	
(2)Humidade L+Q	0,000669	2	0,000334	13,43595	0,000866	
1*2	0,001021	2	0,00051	20,50875	0,000134	
Error	0,000299	12	0,000025			

Tabela 18 - Resultados da análise de grãos de arroz inteiro.

ANOVA; Var.:Rend.Ind; R-sqr=.96141; Adj:.94533 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Rend.Ind; MS Residual=.0000074						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,001587	1	0,001587	214,7444	0	
(2)Humidade L+Q	0,000387	2	0,000194	26,1955	0,000042	
1*2	0,000235	2	0,000118	15,9098	0,000422	
Error	0,000089	12	0,000007			
Total SS	0,002298	17				

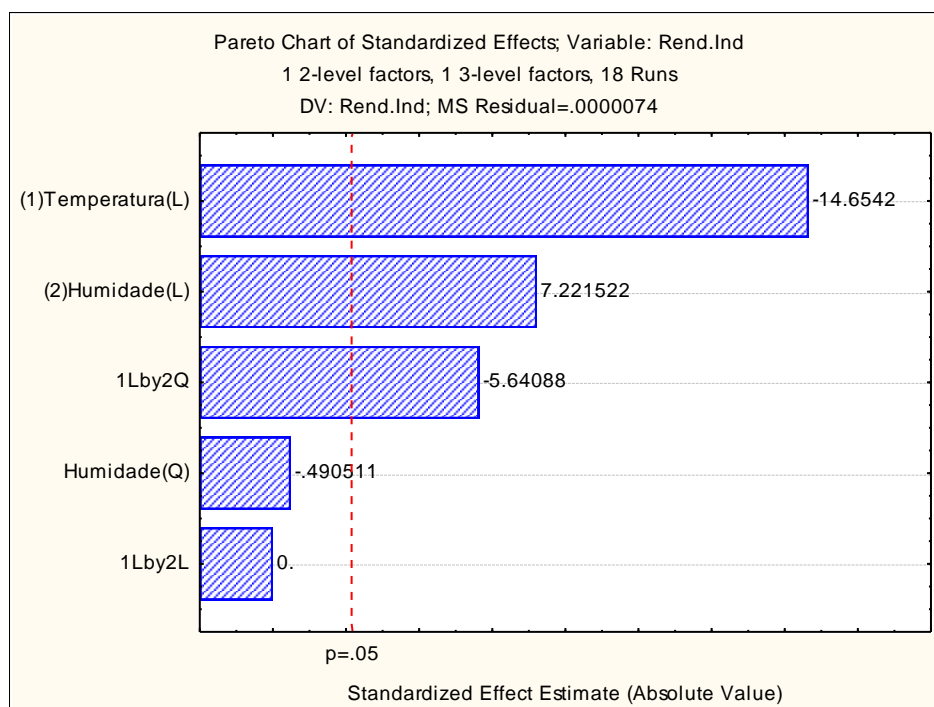


Figura 36 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade Gládio.

Tabela 19 – Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Gládio, analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.

Cód. Amostra	T	HR	Arroz Branqueado	Trinca	Grãos Inteiros	Grãos partidos
A10G01	10	11,10%	72,30%	6,90%	65,40%	9,54%
A10G02	10	11,10%	72,50%	7,90%	64,60%	10,90%
A10G03	10	11,10%	72,40%	6,90%	65,50%	9,53%
A40G01	40	11,10%	71,40%	7,80%	63,60%	10,92%
A40G02	40	11,10%	70,90%	8,30%	62,50%	11,71%
A40G03	40	11,10%	70,90%	8,50%	62,40%	11,99%
B10G01	10	10,90%	71,40%	7,60%	63,80%	10,64%
B10G02	10	10,90%	71,30%	8,40%	62,90%	11,78%
B10G03	10	10,90%	71,20%	8,10%	63,10%	11,38%
B40G01	40	10,90%	70,90%	8,00%	62,90%	11,28%
B40G02	40	10,90%	71,70%	7,70%	64,00%	10,74%
B40G03	40	10,90%	71,70%	7,60%	63,50%	10,60%
C10G01	10	10%	70,30%	8,10%	62,20%	11,52%
C10G02	10	10%	70,10%	7,40%	62,70%	10,56%
C10G03	10	10%	70,10%	7,70%	62,40%	10,98%
C40G01	40	10%	69,60%	8,20%	61,40%	11,78%
C40G02	40	10%	70,20%	7,50%	62,70%	10,68%
C40G03	40	10%	70,00%	7,70%	62,30%	11,00%
D10G01	10	9%	68,70%	9,60%	59,10%	13,97%
D10G02	10	9%	68,40%	10,00%	58,40%	14,62%
D10G03	10	9%	68,50%	9,80%	58,70%	14,31%
D40G01	40	9%	68,50%	8,50%	60,00%	12,41%
D40G02	40	9%	69,10%	8,10%	61,00%	11,72%
D40G03	40	9%	68,80%	7,70%	61,10%	11,19%

Anexo IV – Análise de variância (ANOVA) dos três parâmetros: percentagem de grãos partidos, rendimento industrial e percentagem de grãos inteiros, da variedade Sírio.

Tabela 20 - Resultados da análise da percentagem de grãos partidos.

ANOVA; Var.:% partidos; R-sqr=.0751; Adj:0. (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: % partidos; MS Residual=.000048						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000007	1	0,000007	0,151141	0,704257	
(2)Humidade L+Q	0,000023	2	0,000012	0,243339	0,787782	
1*2	0,000016	2	0,000008	0,168271	0,847084	
Error	0,000576	12	0,000048			
Total SS	0,000623	17				

Tabela 21 – Resultados da análise do Rendimento Industrial.

ANOVA; Var.:Rend.Ind; R-sqr=.87323; Adj:.83422 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Rend.Ind; MS Residual=.0001309						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,001073	1	0,001073	8,19969	0,013308	
(2)Humidade L+Q	0,008823	2	0,004412	33,70018	0,000007	
1*2	0,001825	1	0,001825	13,94385	0,002502	
Error	0,001702	13	0,000131			
Total SS	0,013424	17				

Tabela 22 – Resultados da análise da percentagem de grãos inteiros.

ANOVA; Var.:Inteiros; R-sqr=.97428; Adj:.96357 (Dados) 1 2-level factors, 1 3-level factors, 18 Runs DV: Inteiros; MS Residual=.0000259						
	SS	df	MS	F	p	
(1)Temperatura L	0,000774	1	0,000774	29,8798	0,000144	
(2)Humidade L+Q	0,007836	2	0,003918	151,3412	0	
1*2	0,003161	2	0,00158	61,0451	0,000001	
Error	0,000311	12	0,000026			
Total SS	0,012081	17				

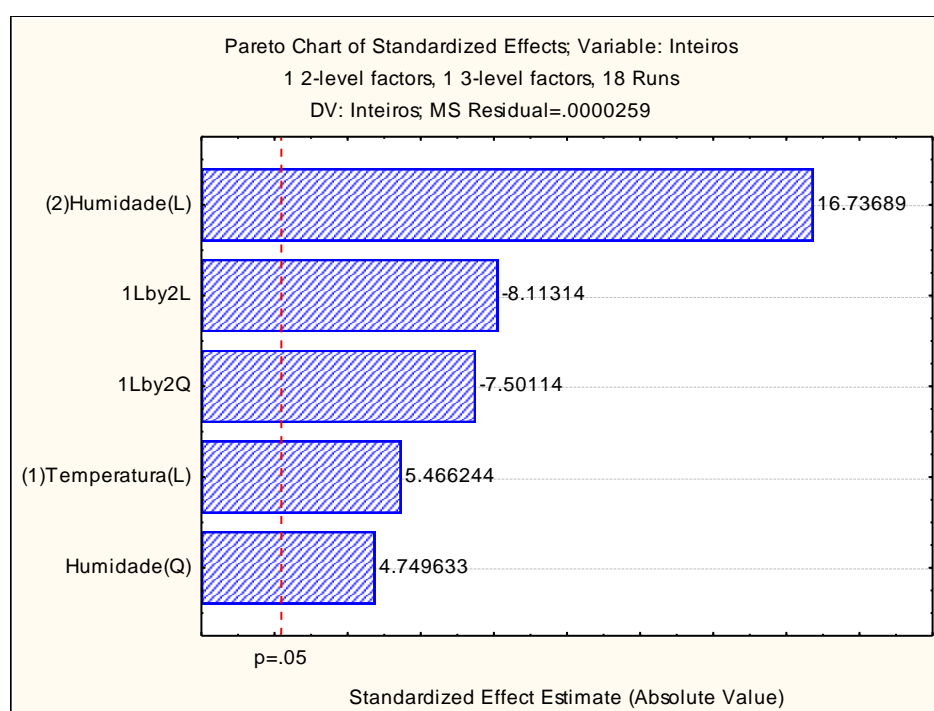


Figura 37 - Estimativa dos efeitos médios das variáveis, temperatura e humidade, na percentagem de grãos de arroz inteiros, na variedade SÍrio.

Tabela 23 - Percentagem de arroz branqueado, trinca, grãos inteiros e grãos partidos das amostras da variedade Sírio analisadas em laboratório, à temperatura de 10 e 40°C e 4 níveis de humidade.

Cód. Amostra	T	HR	Arroz Branqueado	Trinca	Grãos Inteiros	Grãos partidos
A10S01	10	11,70%	72,20%	6,00%	66,20%	8,31%
A10S02	10	11,70%	71,90%	6,00%	65,90%	8,34%
A10S03	10	11,70%	71,80%	6,90%	64,90%	9,61%
A40S01	40	11,70%	72,00%	6,80%	65,20%	9,44%
A40S02	40	11,70%	72,00%	6,00%	66,00%	8,33%
A40S03	40	11,70%	71,80%	6,10%	65,70%	8,50%
B10S01	10	10,90%	70,90%	6,00%	64,90%	8,46%
B10S02	10	10,90%	71,20%	6,90%	64,30%	9,69%
B10S03	10	10,90%	70,80%	5,80%	65,00%	8,19%
B40S01	40	10,90%	70,50%	6,10%	64,40%	8,65%
B40S02	40	10,90%	70,60%	6,30%	64,30%	8,92%
B40S03	40	10,90%	70,40%	6,50%	63,90%	9,23%
C10S01	10	10%	63,20%	5,20%	58,00%	8,23%
C10S02	10	10%	63,50%	5,70%	57,80%	8,98%
C10S03	10	10%	63,20%	6,70%	56,50%	10,60%
C40S01	40	10%	71,40%	6,50%	64,90%	9,10%
C40S02	40	10%	71,50%	6,70%	64,80%	9,37%
C40S03	40	10%	71,30%	6,20%	65,10%	8,70%
D10S01	10	9%	69,40%	6,10%	63,30%	8,79%
D10S02	10	9%	69,30%	6,80%	62,50%	9,81%
D10S03	10	9%	69,30%	6,20%	63,10%	8,95%
D40S01	40	9%	68,40%	6,40%	62,00%	9,36%
D40S02	40	9%	68,50%	6,50%	62,00%	9,49%
D40S03	40	9%	69,10%	5,90%	63,20%	8,54%